



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

### **Usage guidelines**

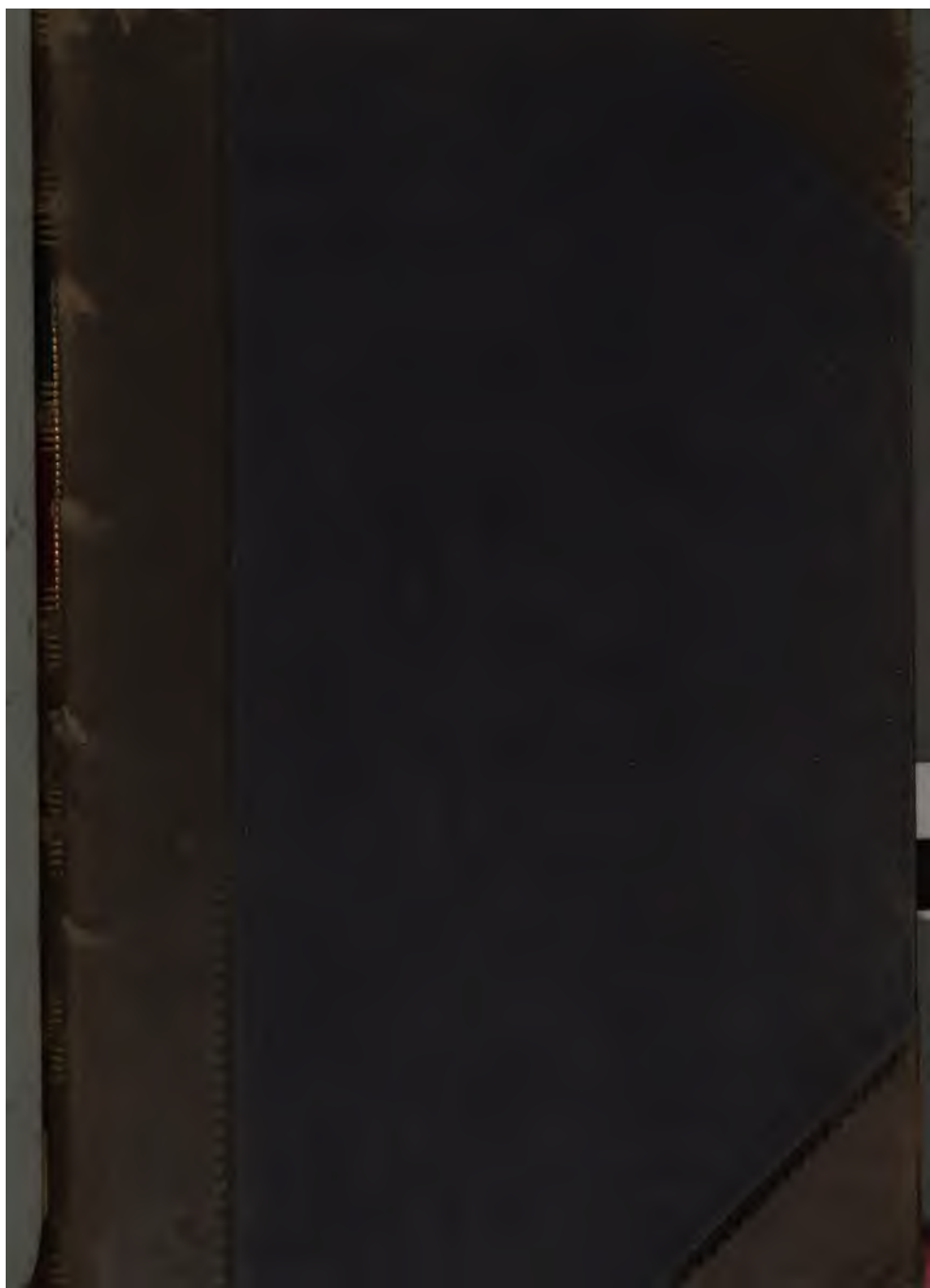
Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

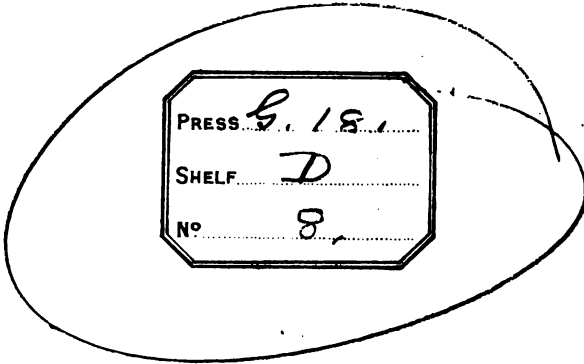
### **About Google Book Search**

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>

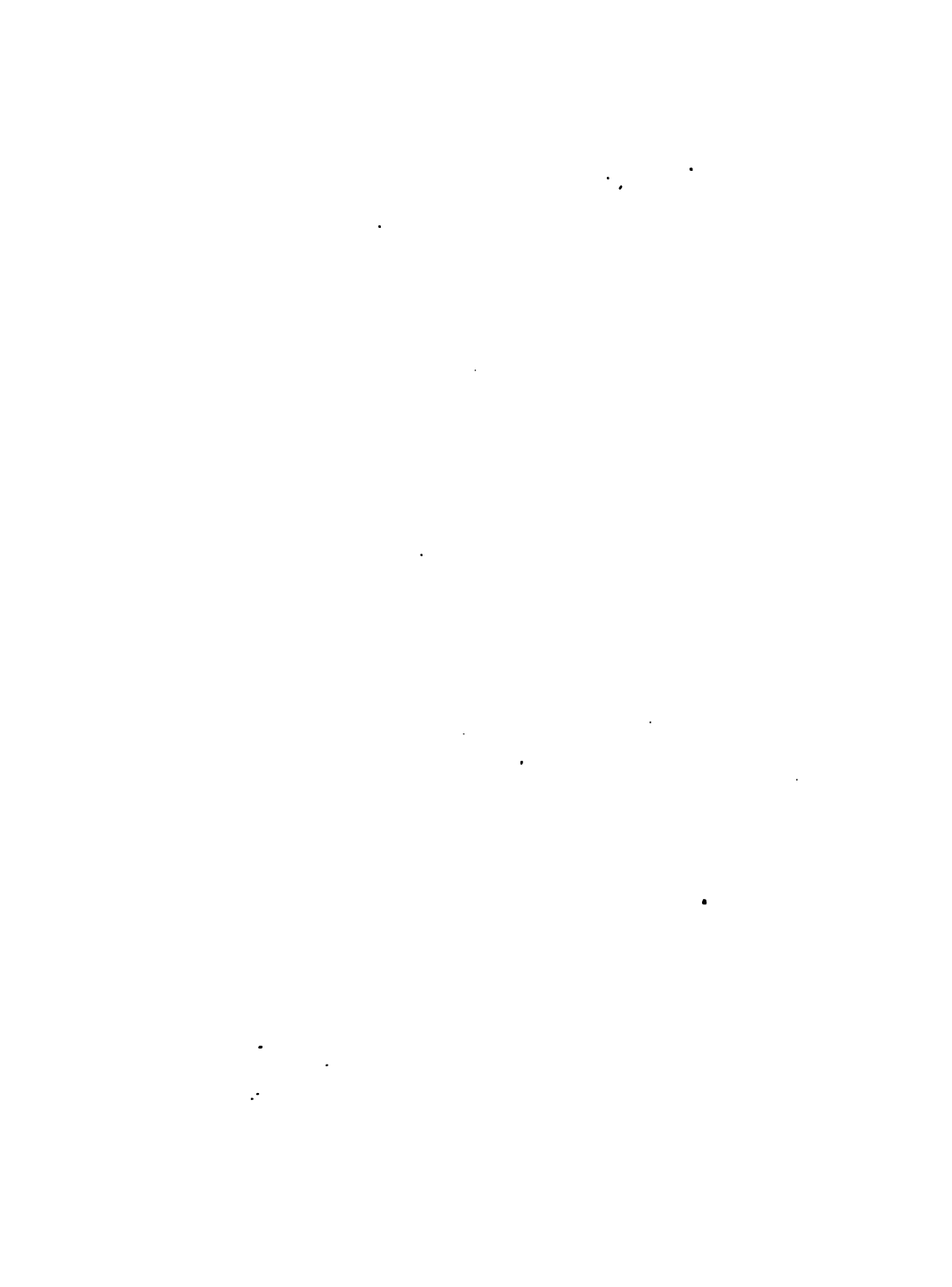




800032039N



1933 E.420 / 1









**PRINCIPES**  
**DE CHIMIE**





**PRINCIPES**  
**DE CHIMIE**

## A LA MÊME LIBRAIRIE

---

**PRÉCIS DE CHIMIE LÉGALE.** Guide pour la recherche des poisons, l'examen des armes à feu, l'analyse des cendres, l'altération des écritures, des monnaies, des alliages, des denrées, et la détermination des taches, à l'usage des étudiants, médecins, pharmaciens, chimistes, experts, avocats, etc., par A. NAQUET. Paris, 1873. 1 vol. in-18 avec figures dans le texte. . . . . 5 fr.

**CHIMIE APPLIQUÉE A LA PHYSIOLOGIE, A LA PATHOLOGIE ET A L'HYGIÈNE,** avec les analyses et les méthodes de recherches les plus nouvelles, par E.-J. ARMAND GAUTIER, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, directeur adjoint au laboratoire de chimie biologique de la Faculté de médecine de Paris. Paris, 1874. 2 vol. in-8 de 1,100 pages, avec 80 figures dans le texte et un tableau chromolithographié représentant l'analyse spectrale du sang: 18 fr.

**MANUEL DE CHIMIE PRATIQUE, ANALYTIQUE, TOXICOLOGIQUE, ZOOCHIMIQUE,** à l'usage des étudiants en médecine et en pharmacie, par E. RITTER, professeur adjoint de chimie médicale et de toxicologie à la Faculté de médecine de Nancy, chef des travaux chimiques de la même Faculté. Paris, 1874. 1 vol. in-18 de 450 pages, avec 123 gravures dans le texte et un tableau chromolithographié représentant l'analyse spectrale du sang. . . . . 6 fr.

**MANUEL DE TOXICOLOGIE,** par DRAGENDORFF, professeur à l'Université de Dorpat. Traduit avec de nombreuses additions et augmenté d'un précis des autres questions de chimie légale, par E. RITTER, professeur adjoint de toxicologie à la Faculté de médecine de Nancy. Paris, 1873. 1 vol. in-8 de 700 pages, avec 49 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée représentant l'analyse spectrale du sang. . . . . 7 fr. 50

**PRINCIPES DE CHIMIE BIOLOGIQUE,** par ERNEST HARDY, préparateur de pharmacologie à la Faculté de médecine de Paris. Paris, 1871. 1 volume in-18 de 560 pages et une planche représentant l'analyse spectrale du sang. . . . . 7 fr.

**L'UNITÉ DES FORCES PHYSIQUES DANS LA NATURE.** Essai de philosophie naturelle, par le R. P. SECCHI, directeur de l'Observatoire à Rome. 2<sup>e</sup> édition française, revue et considérablement augmentée. Paris, 1874. 1 vol. in-8 de 650 pages avec 65 figures dans le texte. . . . . 10 fr.

**NOUVEAUX ÉLÉMENTS DE PHYSIQUE MÉDICALE,** par DESPLATS et GABRIEL, professeurs agrégés à la Faculté de médecine de Paris, précédés d'une préface, par M. GAVARRET, professeur à la Faculté de médecine de Paris. Paris, 1870. 1 vol. in-8 de 700 pages, avec 502 figures dans le texte. . . . . 9 fr.

# PRINCIPES DE CHIMIE

FONDÉE

SUR LES THÉORIES MODERNES

PAR

A. NAQUET

PROFESSEUR AGRÉGÉ A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

TROISIÈME ÉDITION

REVUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE

TOME PREMIER

AVEC 38 GRAVURES

PARIS  
LIBRAIRIE F. SAVY

24, RUE HAUTEFEUILLE, 24

—  
1875

Tous droits réservés

11



# PRÉFACE

DE LA PREMIÈRE ÉDITION

Depuis dix ans environ, la chimie est entrée dans une phase nouvelle. Les progrès de chaque jour lui ont imprimé des modifications profondes et elle est caractérisée aujourd'hui par ce travail de synthèse générale qui, de la coordination des phénomènes, dégage les lois et fonde une théorie.

En 1855, Gerhardt ouvrit largement cette voie par la publication de son admirable traité de chimie organique.

En même temps qu'il systématisait les connaissances de son époque, d'autres travailleurs non moins infatigables, MM. Wurtz, Cannizzaro, Hofmann, Williamson et beaucoup d'autres, aussi fervents, apportaient le contingent de leur activité.

Parfois, il est vrai, leurs découvertes entraînaient d'importantes modifications au plan primitif de l'édifice, mais on peut affirmer que les idées de Gerhardt n'étaient point entamées en ce qu'elles avaient de fécond, d'essentiel, de logiquement conçu.

De cette série de travaux est sorti un ensemble de théories sur lesquelles repose aujourd'hui la science chimique.

Ces théories sont professées à peu près partout : en Alle

magne, en Angleterre, en Italie. En France, où pourtant elles ont pris naissance, on n'en parle pas encore.

La plupart des chimistes reconnaissent qu'il est temps de mettre un terme à un système d'étude essentiellement rétrograde et faux ; mais ils hésitent, en songeant au peu de secours que leur enseignement oral trouverait dans la foule des ouvrages élémentaires de chimie qui, avec la notation ancienne, propagent encore des idées surannées.

Si les considérations que nous exposons ici n'amenaient pas naturellement sous notre plume le nom de M. Wurtz, la vive sympathie qui nous attache à sa personne et surtout notre estime pour son caractère et les puissantes facultés de son esprit, suffiraient pour nous dicter l'éloge des belles *Leçons de philosophie chimique* qu'il vient de publier.

Ce livre est une date : c'est la chimie faisant une halte au milieu de ses conquêtes et reposant ses regards tantôt sur les chemins parcourus, tantôt sur les horizons à atteindre.

Mais un livre qui présente une science sous des points de vue aussi élevés, ne saurait convenir à ceux qui recherchent une initiation à cette science.

Les sommets intellectuels ne s'atteignent pas d'un coup d'aile ; des stations inférieures sont nécessaires, et l'ouvrage que nous offrons au public n'a que la prétention d'être un point de départ. "

Bien qu'élémentaire, il expose les théories modernes et contient les indications indispensables pour servir de guide à ceux qui veulent s'élever vers les régions supérieures de la chimie.

La partie descriptive en paraîtra peut-être trop abrégée, si on la compare aux développements théoriques qu'on y trouve. Telle qu'elle est, elle suffit cependant aux élèves et dépasse même de beaucoup le cadre ordinaire de leurs études.

Nous nous sommes demandé dans le début s'il ne vaudra pas mieux la restreindre plus encore, et la borner aux applications de la chimie à la médecine, faire en un mot une

chimie médicale ; mais nous avons cru devoir abandonner ce premier projet. Les médecins n'auront une idée réelle des parties de la chimie qui leur sont directement utiles que lorsqu'ils se résigneront à étudier cette science dans son ensemble. Nous avons espéré obtenir ce résultat en mettant autant que possible la chimie à leur portée sous un petit nombre de pages, et notre titre d'agrégé à la Faculté de médecine de Paris nous autorise à penser que notre livre deviendra un ouvrage classique pour la jeunesse médicale.

Selon nous, les étudiants s'engagent dans une fausse voie lorsqu'ils négligent la connaissance des lois pour s'attacher simplement à la notion matérielle d'une foule de faits dont ils surchargent inutilement leur mémoire. Les ouvrages spéciaux, d'ailleurs, sont à leur portée lorsqu'ils veulent aborder la pratique ; et le premier élément d'une manipulation sérieuse consiste dans un jugement assaini par une doctrine positive qui apprenne à ménager les tâtonnements et à se rendre compte des imprévus. Nous sommes cependant loin de prétendre que l'étudiant doive se limiter à la philosophie chimique et ignorer absolument les propriétés des corps. Seulement, ici encore, nous sortons des sentiers battus. On a l'habitude d'étudier isolément les caractères des divers corps, et l'on remarque à peine les caractères de groupe. Nous ferons l'inverse. Ainsi, en chimie organique, au lieu de passer successivement en revue les divers alcools, nous donnerons les caractères du groupe alcool, que nous ferons suivre du nom et des formules des corps qui le composent. Il sera ensuite facile à l'élève d'appliquer à chacun d'eux les propriétés générales qui appartiennent à tous.

Cette méthode ne nous empêchera pas, du reste, de signaler, dans un paragraphe spécial, venant après chaque groupe, le nom, les propriétés utiles et les modes usuels de préparation des corps les plus employés que ces divers groupes renferment.

L'élève n'ayant, de cette manière, qu'à retenir quelques



séries de propriétés au lieu d'en retenir un nombre considérable, les conservera plus fidèlement dans sa mémoire.

Ce procédé nous a toujours réussi dans l'enseignement particulier, nous réussira-t-il encore dans cet ouvrage ? Nous l'espérons, et c'est avec confiance que nous livrons notre travail au public, qui appréciera en dernier ressort.

A. NAQUET.

Novembre 1864.

# PRÉFACE

## DE LA DEUXIÈME ÉDITION

Les espérances que nous avons conçues lors de la première édition se sont complètement réalisées ; en moins de deux ans cette édition a été épuisée. Encouragé par ce premier succès, nous publions cette deuxième édition considérablement revue, corrigée et augmentée.

On y trouve une discussion plus complète et plus détaillée des questions qui divisent encore les chimistes. En outre, la partie descriptive, que nous avons dû restreindre beaucoup dans la première édition, a reçu des développements considérables, de manière à répondre complètement aux programmes de tous les examens.

Après la révolution dans l'enseignement qui s'est faite à la Faculté de médecine, où M. Wurtz professe aujourd'hui les nouvelles idées, nous pensons que cette édition, plus encore que la précédente, répond à un besoin.

Nous avons fait d'ailleurs tous nos efforts pour rendre très-claires les démonstrations théoriques aussi bien que l'exposé des faits ; mais nous nous sommes surtout attaché pour cela à n'employer jamais aucune expression qui n'eût été déjà définie et expliquée ; à suivre, en un mot, l'ordre logique que l'on suit dans les sciences mathématiques.

A. NAQUET.

Novembre 1866.

# PRÉFACE

DE LA TROISIÈME ÉDITION

Lorsqu'en 1864 nous avons publié pour la première fois nos *Principes de chimie fondée sur les théories modernes*, nous étions convaincu que nous répondions à un besoin urgent. Jusqu'alors en effet, aucun livre ne renfermait, réunies, groupées, synthétisées, les théories nouvelles, éparses dans 1,000 recueils, qui venaient de transformer la chimie.

Nous ne nous étions pas trompé; nous en eûmes bientôt la preuve, car notre première édition fut rapidement enlevée.

La première édition épuisée, nous en fîmes paraître une seconde considérablement revue, augmentée, mise au courant des découvertes accomplies depuis deux ans.

Cette seconde édition est épuisée à son tour, et nous venons en offrir au public une troisième qui, nous l'espérons, sera tout aussi favorablement accueillie de lui que les deux autres.

Aujourd'hui comme en 1867 nous avons apporté des modifications à notre travail, et ces modifications sont d'autant plus considérables que la chimie, surtout la chimie du carbone, a fait des progrès énormes depuis cette époque.

Dans le premier volume nous avons ajouté les nouvelles

expériences et discussions sur la dissociation, nous avons complété l'histoire des composés du silicium, enfin, nous avons apporté à cette partie de notre ouvrage beaucoup d'autres changements, moins considérables, qui cependant ont leur importance.

Dans la partie de l'ouvrage consacrée à la chimie organique, nous avons séparé des corps gras les composés aromatiques, dont l'étude à l'heure présente constitue une branche vraiment spéciale de la chimie du carbone.

Les chapitres consacrés aux généralités sur les différentes fonctions de la série grasse, sur les hydrocarbures, les alcools primaires, secondaires et tertiaires ont été beaucoup développés, et nous avons surtout introduit les notions d'hydrocarbures normaux ou primaires, secondaires et tertiaires, dont les découvertes les plus récentes ont démontré l'importance.

Les autres composés organiques dérivant des hydrocarbures par substitution, nous avons été entraîné à faire la même distinction pour les alcools, les acides, etc.

La série aromatique forme aujourd'hui une partie très-considérable de la chimie du carbone, qui est d'autant plus intéressante que l'industrie a mis à profit des découvertes fondées souvent sur des spéculations théoriques les plus élevées, pour l'obtention des magnifiques matières colorantes qui offrent un éclat et une pureté de teintes inconnus jusqu'alors.

Le chapitre qui traite de la constitution de cette série est donc entièrement nouveau, et nous avons consacré aussi une place plus grande à l'étude détaillée de quelques-uns des composés aromatiques.

Enfin, dans tout l'ouvrage nous avons substitué aux formules graphiques de M. Kekulé, les formules de constitution, plus simples et plus claires dont on fait usage depuis peu d'années; en général, nous avons employé ces formules développées le plus souvent possible, parce que la seule in-

d'autres forces on peut, dans la plupart des cas, les diviser elles-mêmes en masses plus petites, qui prennent le nom d'atomes.

Dans certains cas exceptionnels elles ne sont pas divisibles. On dit alors que les corps auxquels elles appartiennent ont un atome et une molécule qui se confondent.

L'ensemble de tous les corps qui existent a reçu le nom de nature, et l'étude de la nature s'appelle philosophie naturelle.

Dans la philosophie naturelle on doit faire d'abord deux grandes divisions.

Certaines sciences étudient les corps vivants, surtout en tant que vivants, c'est-à-dire y recherchent les lois de la vie en laissant de côté les propriétés qu'ils ont de communes avec les corps bruts ; lorsqu'elles s'occupent des corps bruts, elles n'étudient que leur manière d'être dans la nature, leurs propriétés extérieures, sans s'occuper des modifications que ces propriétés peuvent subir sous l'influence de tels ou tels agents. D'autres sciences, au contraire, en étudiant les corps bruts, recherchent et leurs propriétés extérieures et les modifications que nous pouvons leur imprimer à l'aide des agents dont nous disposons. Elles ne s'occupent pas des êtres vivants, ou, du moins, ne les étudient qu'au point de vue des propriétés communes à eux et aux corps bruts.

On donne le nom de sciences naturelles proprement dites ou d'histoire naturelle aux premières de ces sciences, et l'on réserve aux secondes le nom de sciences physiques.

Les sciences physiques contiennent deux sciences distinctes : la physique et la chimie.

La physique étudie les corps au point de vue de leurs propriétés et des actions qu'ils exercent les uns sur les autres, en tant que ces actions n'intéressent pas leur constitution intime.

La chimie, au contraire, s'occupe des propriétés des corps et des actions qu'ils exercent les uns sur les autres, en tant que ces actions touchent à leur constitution intime.

Cette définition de la physique et de la chimie, qui, à quelques modifications près dans la forme, est celle qu'on trouve dans tous les ouvrages, est incomplète. Après avoir dit que les phénomènes chimiques touchent à la constitution intime des corps, et les phénomènes physiques, non, il reste à définir ce que l'on entend par constitution intime.

On dit que les corps ne sont pas modifiés dans leur constitu-

tion intime lorsque les phénomènes dont ils sont le siège se passent entre leurs molécules sans que ces dernières subissent d'altération, ni dans le nombre des atomes qui les composent, ni dans la distance respective de ces atomes, ni dans leur mode de groupement, ni dans leur nature.

On dit, au contraire, d'un corps qu'il est modifié dans sa constitution intime, lorsque sa molécule est altérée dans la nature, le nombre, la distance ou le mode de groupement des atomes qu'elle contient.

Ainsi, tous les phénomènes dans lesquels la molécule reste intacte sont du domaine de la physique; tous ceux, au contraire, dans lesquels la molécule est plus ou moins modifiée, appartiennent au domaine de la chimie.

Pour rendre cette définition tout à fait claire, donnons un exemple de ces deux ordres de phénomènes.

Si l'on prend du fer doux, qu'on l'entoure par une spirale en fil de cuivre traversée par un courant électrique, le fer acquiert toutes les propriétés d'un aimant. Interrompt-on le courant, le métal reprend toutes ses propriétés premières. Ses molécules n'ont subi aucune altération; la modification observée pendant un instant n'a point porté sur sa constitution intime: c'est un phénomène physique.

Que, par contre, on chauffe un morceau de phosphore à l'abri de l'air, pendant un temps suffisant et à une température de 250° environ; de jaunâtre, transparent, très-inflammable et soluble dans certains dissolvants qu'il était, il devient rouge, opaque, moins facilement inflammable et insoluble dans les mêmes dissolvants. Il conserve ces nouveaux caractères après complet refroidissement. La modification opérée sous l'influence de la chaleur porte sur sa constitution intime. Le phénomène est un phénomène chimique.

En chimie, on range les corps en deux grandes classes: les corps simples et les corps composés.

Les corps simples sont ceux desquels on n'a pu jusqu'à nos jours retirer qu'une seule et même espèce de matière.

Les corps composés sont ceux dans lesquels on est parvenu à mettre en évidence plusieurs substances jouissant de propriétés différentes. La notion de corps simple n'a rien d'absolu: tels envisagés comme simples aujourd'hui, pourront être considérés comme composés demain.

Parmi les corps composés, il en est qui sont de simples mélanges, d'autres qui résultent d'une combinaison définie. On les distingue par deux caractères principaux :

1° Dans les mélanges, chaque élément peut être dans une proportion quelconque vis-à-vis des autres. Dans les composés qui résultent d'une combinaison, cette proportion est constante, définie.

2° Dans les mélanges, tous les éléments conservent les propriétés qui leur sont propres ; dans les composés qui résultent d'une combinaison, chaque élément perd les propriétés qui le caractérisent pour en acquérir de nouvelles communes à tous. On a véritablement un corps nouveau ; ainsi :

Le soufre est soluble dans le sulfure de carbone, et le fer est attirable à l'aimant. Qu'on mêle du fer et du soufre réduits en poudre, fer et soufre auront conservé leurs propriétés ; on pourra retirer le fer à l'aide d'un aimant, et le soufre, en le dissolvant dans le sulfure de carbone.

Vient-on à chauffer la poussière précédente, une action chimique intervient ; la masse prend une couleur noire, et des propriétés nouvelles s'y manifestent : elle n'est plus attirable à l'aimant comme le fer, ni soluble dans le sulfure de carbone comme le soufre. Avant d'avoir fait agir la chaleur, on avait un simple mélange ; on a maintenant une combinaison définie.

Lorsqu'une combinaison se produit, certains phénomènes en avertissent l'observateur : il y a toujours, dans ce cas, dégagement de chaleur et développement d'électricité, quelquefois production de lumière, souvent contraction de la masse.

La production des combinaisons est favorisée par la chaleur, la lumière, l'électricité, l'état naissant, la masse, la force catalytique et certaine propriété élective en vertu de laquelle un corps donné se combine avec un second corps plus facilement qu'il ne se combinerait avec un autre.

1° **Chaleur.** Dans l'action qu'exerce la chaleur sur le mélange de fer et de soufre, nous avons déjà vu comment intervient cet agent.

2° **Lumière.** La lumière intervient aussi très-souvent. C'est ainsi qu'un rayon violet suffit pour déterminer la combinaison subite du chlore et de l'hydrogène, laquelle ne se fait pas dans l'obscurité absolue.

3° **Électricité.** Ce fluide a une action qui n'est plus douteuse.

Elle a été démontrée d'une manière éclatante par la combinaison directe du carbone et de l'hydrogène réalisée par M. Berthelot. Cette combinaison, qui ne se faisait à aucune température en dehors de l'action électrique, s'est faite facilement sous l'influence d'un fort courant.

**4° État naissant.** On entend par ce mot l'état dans lequel se trouvent les corps au moment où ils sortent d'une combinaison. L'expérience prouve que dans ces conditions ils ont plus de tendance à se combiner que lorsqu'on les prend à l'état de liberté.

**5° Action de masse.** Ce sont des actions dans lesquelles deux corps se chassent mutuellement d'une combinaison, celui qui est en plus grande quantité prenant la place de l'autre.

M. Deville a donné une explication très-rationnelle des actions de masse. Il a été amené à conclure de ses expériences qu'il se passe, dans les décompositions des corps par la chaleur, des phénomènes analogues à ceux que l'on observe dans la vaporisation des liquides. De même que le passage d'un liquide à l'état gazeux exige une certaine quantité de chaleur qui est entièrement absorbée, de même un corps composé, pour se réduire en ses éléments, absorbe une quantité de chaleur égale à celle qu'il a dégagée en se formant.

Quand un liquide est chauffé à une température plus basse que son point d'ébullition, il émet encore des vapeurs. Bientôt, l'espace étant saturé, la vaporisation s'arrête, les vapeurs formées équilibrent la tendance qu'aurait le reste du liquide à se vaporiser.

Un phénomène analogue s'observe dans les décompositions. Lorsqu'on chauffe un corps composé à une température insuffisante pour en opérer la décomposition complète, une partie cependant se dissocie en ses éléments, mais son poids ne forme qu'une très-faible portion de la masse totale. La dissociation paraît ensuite s'arrêter. Cet équilibre se produit lorsque la décomposition qui continue à se faire est exactement compensée par la recomposition qui a lieu en même temps.

Supposons maintenant qu'on chauffe à 120° de la vapeur d'eau dans un grand excès de chlore (l'eau se compose d'hydrogène et d'oxygène), une petite quantité d'hydrogène et d'oxygène deviendra libre. L'hydrogène libre tendra à se combiner soit au chlore, soit à l'oxygène; mais l'oxygène étant en très-faible quantité par rapport au chlore, c'est avec ce dernier corps que se combinera la plus grande partie de l'hydrogène; le phénomène se continuera ainsi,



Les corps constituants se rend au pôle positif et l'autre au pôle négatif. On suppose le premier, celui qui va au pôle positif, électro-positif, et on le dit électro-négatif par rapport au premier qui suppose chargé d'électricité positive. et qu'on suppose électro-négatif. Tous les corps simples peuvent être rangés en électro-positifs et électro-négatifs. Chacun d'eux soit électro-positif vis-à-vis de tous ceux qui sont électro-négatifs, et électro-négatif vis-à-vis de tous ceux qui sont électro-positifs. L'expérience prouve que deux corps ont une tendance à se réunir, et que cette tendance est en raison directe de la distance qui les sépare électrostatiquement.

À vu que pour comprendre les divers phénomènes chimiques, on est obligé de supposer la matière formée de particules indivisibles au moyen des forces dont nous disons que l'on nomme *molécules* ou *atomes*.

En outre, que ces deux mots sont loin d'être synonymes, la molécule étant généralement constituée par une aggrégation de plusieurs atomes, la force qui lie ensemble les atomes dans la molécule se nomme *affinité*; celle qui unit entre elles les molécules d'un corps se nomme *cohésion*. Autrefois on définissait l'affinité comme la force qui unit les atomes de plusieurs substances différentes. Cette définition était incomplète. La force qui unit deux atomes dans la molécule de ce corps est aussi bien de la même nature que celle qui unit un atome d'hydrogène à un atome de chlore dans la molécule de l'acide chlorhydrique.

En outre, dans cette fausse définition, le mot *affinité* présente, à un point de vue toute philosophique que nous venons d'indiquer, une ambiguïté. On appelle encore affinité, la propriété que certains corps ont de se combiner, et en vertu de laquelle certains corps sont plus ou moins aptes à se combiner. C'est à ce titre qu'on dit qu'un corps a beaucoup d'affinité pour l'hydrogène.

Un corps composé qu'il est stable lorsqu'il résiste facilement à la décomposition. Dans le cas contraire, on le dit instable.

Les corps B peuvent souvent former plusieurs combinaisons dans lesquelles ils entrent en proportions variables. On dit qu'un corps a une affinité avec chacune d'elles une quantité telle qu'elle contienne les quantités pondérables de la substance dans les rapports rationnels et commensurables.

et par conséquent, il se détruira plus d'eau qu'il ne s'en reconstituera, et la majeure partie de l'eau se trouvera dans un temps déterminé transformée en acide chlorhydrique (composé de chlore et d'hydrogène).

Si l'on chauffait, au contraire, de l'acide chlorhydrique dans une grande masse d'oxygène, l'oxygène se trouverait toujours en grand excès relativement au chlore. Dès lors, c'est avec l'oxygène que se combinerait la plus grande partie de l'hydrogène devenu libre dans la dissociation de l'acide chlorhydrique. L'acide chlorhydrique se trouverait ainsi presque entièrement transformé en eau et chlore libre. En un mot, les mêmes phénomènes s'accompliraient encore, mais dans un ordre inverse.

0° **Catalyse.** On a donné le nom de phénomènes catalytiques à des phénomènes dans lesquels un corps détermine une combinaison ou une décomposition par le seul fait de sa présence et sans intervenir dans la réaction. Pour expliquer cette action, on a invoqué autrefois une force particulière, la force catalytique; mais une étude plus scientifique de ces phénomènes a montré que leur cause peut être rapportée aux divers agents physiques et chimiques connus. La mousse de platine décompose l'eau oxygénée (bioxyde d'hydrogène) en oxygène et en eau, sans éprouver de modification; on voyait là l'action de la force catalytique. Or cette décomposition est due à un simple phénomène de dissociation. La mousse de platine apporte dans l'eau une gaine gazeuse adhérente à sa surface, qui provoque, par diffusion, la séparation de l'oxygène, dissous dans l'eau oxygénée et, par suite, la décomposition d'une nouvelle partie du bioxyde d'hydrogène, car celui-ci n'est stable qu'en présence d'une certaine quantité des produits de sa décomposition, en vertu d'un phénomène de dissociation bien manifeste. La preuve, c'est que l'air lui-même, qu'on agite avec l'eau oxygénée, agit comme la mousse de platine et que cette dernière, chauffée et plongée aussitôt dans l'eau, a perdu sa propriété catalytique.

7° **Propriétés électives.** Les propriétés électives en vertu desquelles les corps ont plus ou moins de tendance à se combiner, sont un fait d'expérience. Elles tiennent à la nature intime des corps. On peut le plus souvent les prévoir en se basant sur les considérations suivantes :

Le composé formé par l'union de deux corps peut être réduit en ses éléments sous l'influence d'un courant électrique. Dans ce

cas, un des principes constituants se rend au pôle positif et l'autre au pôle négatif. On suppose le premier, celui qui va au pôle positif, chargé d'électricité négative, et on le dit électro-négatif par rapport au second, que l'on suppose chargé d'électricité positive, et qu'on dit électro-positif. Tous les corps simples peuvent être rangés en une série telle que chacun d'eux soit électro-positif vis-à-vis de tous ceux qui le précèdent, et électro-négatif vis-à-vis de tous ceux qui le suivent. L'expérience prouve que deux corps ont une tendance à se combiner qui est en raison directe de la distance qui les sépare dans la série électrique.

Nous avons déjà vu que pour comprendre les divers phénomènes physiques et chimiques, on est obligé de supposer la matière formée par des particules indivisibles au moyen des forces dont nous disposons, particules que l'on nomme *molécules* ou *atomes*.

Nous avons vu, de plus, que ces deux mots sont loin d'être synonymes, la molécule étant généralement constituée par une aggrégation d'atomes. La force qui lie ensemble les atomes dans la molécule a reçu le nom d'*affinité*; celle qui unit entre elles les molécules pour former les corps se nomme *cohésion*. Autrefois on définissait l'affinité la force qui unit les atomes de plusieurs substances différentes. Cette définition était incomplète. La force qui unit deux atomes d'hydrogène dans la molécule de ce corps est aussi bien de l'affinité que celle qui unit un atome d'hydrogène à un atome de chlore dans la molécule de l'acide chlorhydrique.

Par suite de cette fausse définition, le mot *affinité* présente, à côté de l'acception toute philosophique que nous venons d'indiquer, une acception différente. On appelle encore affinité, la propriété élective dont nous avons parlé, et en vertu de laquelle certains corps sont plus ou moins aptes à se combiner. C'est à ce titre qu'on dit que le chlore a beaucoup d'affinité pour l'hydrogène.

On dit d'un corps composé qu'il est stable lorsqu'il résiste facilement aux agents de décomposition. Dans le cas contraire, on le dit instable.

Deux corps A et B peuvent souvent former plusieurs combinaisons définies, dans lesquelles ils entrent en proportions variables. Si l'on prend de chacune d'elles une quantité telle qu'elle contienne un poids constant du corps A, les quantités pondérables de la substance B seront toujours dans des rapports rationnels et commensurables.

Ainsi la quantité de A contenue dans des poids divers de chacun des composés qu'il forme avec B, étant 1, celles de B seront entre elles comme

$$1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7 \dots$$

de même, le poids de A étant 2, ceux de B seront entre eux comme

$$1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7 \dots$$

et ainsi de suite. Cette loi a reçu le nom de *loi des proportions multiples*, elle est due à Dalton.

Lorsque les corps qui se combinent affectent l'état gazeux, il y a toujours un rapport très-simple entre les volumes des deux gaz primitifs et le volume du composé formé, considéré à l'état de vapeur dans les mêmes conditions de pression et de température.

Le composé formé occupe souvent un volume plus faible que la somme des volumes des gaz élémentaires. On dit alors qu'il y a contraction. Cette contraction peut s'exprimer par la formule générale

$\frac{V-v}{V}$ , dans laquelle V représente le volume du mélange des deux gaz et v le volume du composé formé.

Quelquefois le composé formé occupe le même volume que la somme des deux gaz élémentaires; ce cas ne se rencontre que lorsque les deux gaz élémentaires se combinent à volume égal. L'inverse n'est pas vrai, c'est-à-dire qu'il peut y avoir contraction, même lorsque deux gaz se combinent à volume égal.

Jamais le volume du composé formé ne dépasse la somme des volumes des gaz élémentaires. En un mot, on n'observe jamais de dilatation dans la combinaison des gaz. Cette loi porte le nom de *loi de Gay-Lussac*.

#### CRISTALLOGRAPHIE — PROPRIÉTÉS OPTIQUES

**Cristallographie.** La plupart des substances prennent des formes géométriques lorsqu'elles passent de l'état liquide ou gazeux à l'état solide avec une lenteur suffisante pour que leurs molécules puissent prendre les positions qui leur sont naturelles. Ces formes, toujours les mêmes lorsqu'elles se sont produites dans les mêmes

conditions, ont reçu le nom de formes cristallines et les corps qui les revêtent celui de cristaux.

Les cristaux n'ont jamais d'angles rentrants. De pareils angles ne s'observent que sur des groupes de plusieurs cristaux accolés. Quelquefois ces accolements se font avec assez de symétrie pour que les groupements qui en résultent présentent un aspect régulier.

Les cristaux ne se cassent pas avec une égale facilité dans tous les sens. Généralement ils présentent deux ou trois directions dans lesquelles la cassure se fait facilement et suivant des faces planes parallèles entre elles. Ces faces parallèles prennent le nom de clivages. Quand on clive des cristaux dans les diverses directions où le clivage est possible, on obtient de nouveaux solides qui ont été appelés solides de clivage.

On distingue dans un cristal des faces qui le limitent ABCD, ABEF (fig. 1); des arêtes, ou lignes formées par l'intersection de

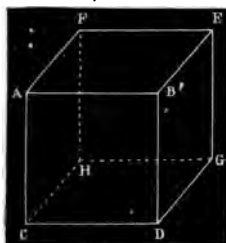


Fig. 1.

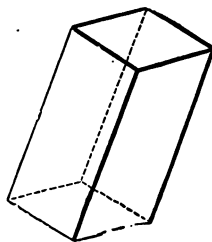


Fig. 2.



Fig. 3.

deux faces, AB, CD; et des angles qui résultent de l'intersection de trois faces au moins, comme l'angle ABDE, dû à l'intersection des trois faces ABCD, ABEF et BDEG.

Si l'on fait une étude attentive des diverses formes cristallines que l'on rencontre dans la nature, on voit que plusieurs dérivent les unes des autres par une loi très-simple. L'ensemble de toutes les formes dérivées ainsi d'une forme type a reçu le nom de *Système cristallin*. Il y a six systèmes cristallins, c'est-à-dire six groupes dont chacun comprend des formes qui dérivent les unes des autres, et ne peuvent en aucune manière dériver de celles qui sont placées dans les cinq autres groupes.

Ces six systèmes peuvent être rangés en deux classes : la pre-

mière renferme toutes les formes dans lesquelles les trois arêtes qui partent d'un même angle solide sont perpendiculaires entre elles ; la deuxième renferme, au contraire, toutes les formes dans lesquelles les trois arêtes sont inclinées les unes par rapport aux autres.

**PREMIÈRE CLASSE. Arêtes perpendiculaires.** Cette classe contient trois systèmes cristallins qui se différencient par les caractères suivants :

*Premier système.* Les trois arêtes y sont de longueur égale, c'est le système *cubique* ou *régulier* (fig. 1).

*Deuxième système.* Deux des trois arêtes sont de même longueur, mais la troisième a une longueur différente de celle des deux autres, c'est le système *prismatique droit à base carrée* ou *système quadratique* (fig. 2).

*Troisième système.* Les trois arêtes sont inégales, c'est le système *prismatique droit à base rectangle* ou *système orthorhombique* (fig. 3).

**DEUXIÈME CLASSE. Arêtes inclinées** Dans cette classe se trouvent rangés les trois derniers systèmes cristallins ; ils se différencient



Fig. 4.

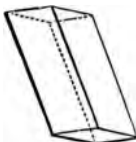


Fig. 5.

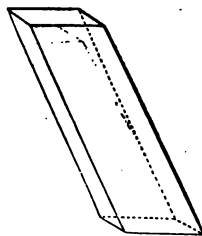


Fig. 6.

entre eux par les mêmes caractères qui ont servi à déterminer les trois premiers.

*Quatrième système.* Les trois arêtes sont de même longueur ; c'est le système *rhomboédrique* ou *hexagonal* (fig. 4).

*Cinquième système.* Deux arêtes sont de même longueur, mais la troisième a une longueur différente de celle des deux autres ; c'est le système *prismatique incliné à base rhombe* ou *clinorhombique* (fig. 5).

*Sixième système.* Les trois arêtes sont inégales ; c'est le système

*prismatique incliné à base parallélogramme, ou système anorthique ou triclinique (fig. 6).*

Les formes types qui sont les pivots des six systèmes peuvent subir des modifications à l'aide desquelles les formes secondaires en dérivent. Ces modifications consistent dans le remplacement d'une arête ou d'un angle de cristal par une ou plusieurs faces qui prennent le nom de faces de troncature. Si les faces de troncature qui portent sur les arêtes, ou celles qui portent sur les angles, sont prolongées jusqu'à ce qu'elles se rencontrent, on obtient une deuxième forme dérivée de la première. C'est ainsi qu'en remplaçant chaque angle du cube par une face également inclinée

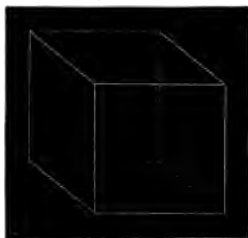


Fig. 7.

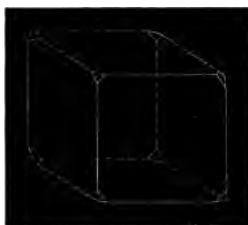


Fig. 8.

sur chaque arête et prolongeant toutes les faces, on obtient l'octaèdre régulier comme le montrent les figures 7, 8 et 9.

Lorsqu'on ne prolonge pas les faces de troncature, le cristal contient à la fois les faces du solide primitif et les faces du solide dérivé. On a alors une forme composée telle que le cubo-octaèdre de la figure 8.

La loi qui préside aux modifications dont nous venons de parler est connue sous le nom de *loi de symétrie*, elle s'exprime ainsi : *Dans un cristal toutes les parties semblables doivent toujours être modifiées semblablement.* C'est pourquoi, dans un cube où toutes les arêtes sont semblables entre elles et où tous les angles sont semblables entre eux, une modification sur une arête ou sur un angle entraîne une pareille sur toutes les autres arêtes ou sur tous les autres angles.

Il est cependant des cas spéciaux dans lesquels la moitié seulement des parties qui devraient être modifiées le sont réellement, une seule des deux parties alternatives ayant subi la modification.

Les cristaux de cette nature sont dits hémihédres. Lorsqu'on les considère, on s'aperçoit que les facettes de troncature, que l'on nomme alors facettes hémihédriques, se présentent toujours à droite ou toujours à gauche de certaines faces symétriques. Quand les facettes sont à droite, on dit que le cristal est hémihédre à droite. Quand elles sont à gauche, on le dit hémihédre à gauche.



Fig. 9.

Certaines substances affectent des formes cristallines, sinon tout à fait identiques, du moins assez voisines pour qu'on ne parvienne à les distinguer que par une mesure très-précise des angles. Encore ces angles sont-ils très-rapprochés. Si l'on fait cristalliser

ensemble de pareilles substances, les unes et les autres entrent dans un même cristal en proportions variables, et l'angle du cristal est intermédiaire entre ceux des divers corps qui en font partie. Les substances qui jouissent de cette propriété sont nommées *isomorphes*.

**Propriétés optiques.** Lorsqu'un rayon de lumière se réfléchit sous un certain angle sur une surface de verre, ou se réfracte en passant à travers des cristaux que l'on nomme *biréfringents*, il se polarise. On entend par ce mot qu'il acquiert la propriété de s'éteindre toutes les fois qu'on le fait se réfléchir ou se réfracter dans des conditions telles que, s'il n'était pas déjà modifié, il passerait et se trouverait dans un plan perpendiculaire à celui dans lequel il est déjà. En d'autres termes, le rayon polarisé s'éteindra toutes les fois que le nouveau plan d'incidence sera perpendiculaire au plan d'incidence primitif; si les deux plans sont au contraire parallèles, le rayon passera.

Lorsqu'un rayon polarisé tombe sur un cristal biréfringent, dans des conditions convenables pour qu'il s'éteigne, on peut le faire reparaitre en interposant sur son passage des tubes pleins de dissolutions particulières ou une lame de certaines substances transparentes. Le rayon peut être éteint de nouveau si l'on tourne le cristal biréfringent d'un certain nombre de degrés soit à droite, soit à gauche. On dit alors que la substance interposée dévie vers la droite ou vers la gauche le plan de polarisation, qu'elle est *dextrogyre* ou *lévogyre*.

D'une manière plus générale, une substance qui présente vis-à-



vis de la lumière l'action dont nous venons de parler, est dite active, quel que soit le sens dans lequel elle agit.

Quand une substance active est susceptible de cristalliser, il y a un rapport entre la forme cristalline et le sens de la déviation. Ce rapport est tel qu'on peut, à l'inspection d'un cristal, dire si le corps qui le constitue est actif, et s'il est lévogyre ou dextrogyre. En effet, la plupart des substances actives affectent en cristallisant des formes hémédriques, et l'on remarque que celles qui dévient à droite le plan de polarisation sont hémédres à droite, tandis que celles qui le dévient à gauche sont hémédres à gauche. Cette mémorable découverte, entrevue d'abord par Herschel, a définitivement pris rang dans la science après les travaux de M. Pasteur.

#### ÉQUIVALENTS

Si l'on fait dissoudre dans l'eau un composé de chlore et de mercure (chlorure de mercure), et qu'on place une lame de cuivre dans cette solution, on verra la lame métallique devenir blanche, tandis que la dissolution verdira, et cela sans qu'il se dégage la plus petite quantité de chlore. Au bout d'un certain temps, en retirant le métal et en le chauffant dans un appareil qui permette de recueillir les parties volatiles, on obtiendra un certain poids de mercure métallique, et la lame de cuivre reprendra sa couleur naturelle. Il suffira alors de la peser, et de défalquer son poids de celui qu'elle avait avant l'expérience, pour constater une perte indiquant la disparition d'une certaine quantité de cuivre. Enfin, en examinant la dissolution devenue verte avec les réactifs dont la chimie dispose, on constatera qu'elle renferme du cuivre, et qu'elle ne contient plus la moindre parcelle de mercure.

En comparant les poids du mercure précipité et du cuivre dissous, on trouvera que, pour 100 parties de mercure, il s'est dissous 31,75 parties de cuivre; ce rapport restant toujours strictement le même, quelles que soient les quantités réagissantes absolues de ces deux métaux. Que l'on prenne en second lieu une lame de fer et qu'on la plonge dans la liqueur cuivrique, d'où le mercure s'est entièrement déposé, le cuivre se précipitera à son tour, et le fer entrera en dissolution. En dosant le fer dissous, on trouvera que les 31,75 parties de cuivre auront été remplacées

par 28 de fer, ce rapport restant le même dans quelque condition qu'on se place et toujours sans qu'on observe le moindre dégagement de chlore.

Enfin, qu'on prenne 28 parties de fer et qu'on les mette dans un composé de chlore et d'hydrogène (l'acide chlorhydrique), du gaz hydrogène se dégagera, et le fer en prendra la place. Si l'on recueille le gaz qui est mis en liberté pendant la dissolution totale des 28 parties de fer, on pourra en obtenir le poids en mesurant le volume (on sait que 1 litre d'hydrogène pèse 0,0895), et ce poids sera égal à 1.

Il résulte de ce qui précède que 100 de mercure ayant été remplacés par 31,75 de cuivre, qui l'ont été à leur tour par 28 de fer, sans que la quantité de chlore contenue dans la solution ait varié, 28 de fer sont équivalents à 31,75 de cuivre et à 100 de mercure.

Comme d'ailleurs 1 d'hydrogène a été remplacé par 28 de fer, ces deux quantités sont encore équivalentes, et comme, enfin, plusieurs quantités équivalentes à une quantité commune sont équivalentes entre elles, 1 d'hydrogène équivaut à 100 de mercure et à 31,75 de cuivre. Ce qui revient à dire que 100 de mercure, 31,75 de cuivre, 28 de fer et 1 d'hydrogène s'équivalent.

Les nombres qui expriment ainsi les rapports selon lesquels les corps se remplacent dans les combinaisons chimiques, portent le nom d'*équivalents* ou nombres proportionnels. C'est à ce titre qu'on dit que les équivalents de l'hydrogène, du mercure, du fer et du cuivre sont respectivement égaux à 1; 100; 28; 31,75.

Dans tous ces rapports, l'hydrogène a été pris pour moitié, parce qu'il est celui de tous les corps connus dont l'équivalent est le moins élevé.

**Détermination des équivalents.** La méthode précédente n'est ni applicable à tous les corps simples, ni suffisamment précise.

Il en existe une autre à l'aide de laquelle on peut déterminer d'une manière exacte l'équivalent de tous les corps. Soit à trouver l'équivalent du potassium relativement à l'hydrogène pris pour unité. On combine, d'une part, le potassium au chlore, et l'on obtient ainsi un composé nommé chlorure de potassium, dont on fait l'analyse. Cette analyse démontre que 100 parties de ce chlorure contiennent 47,58 de chlore et 52,42 de potassium.

On combine ensuite le chlore à l'hydrogène ; en analysant l'acide

chlorhydrique ainsi produit, on trouve qu'il contient en centièmes 97,26 de chlore et 2,74 d'hydrogène.

Enfin, on prend de chacun de ces composés une quantité telle qu'elle contienne le même poids de chlore. Soit le poids 35,5, c'est-à-dire celui qui, dans l'acide chlorhydrique, est combiné à 1 d'hydrogène (ce que l'on trouve par la proportion :

$$2,74 : 97,26 :: 1 : x, \text{ d'où } x = 35,5)$$

la quantité d'acide chlorhydrique contenant ce poids de chlore sera 36,5. Le poids de chlorure de potassium qui renferme aussi 35,5 de chlore sera donné par la proportion :

$$47,58 : 100 :: 35,5 : x, \text{ d'où } x = 74,6.$$

Donc, 74,6 de chlorure de potassium et 36,5 d'acide chlorhydrique renferment également 35,5 de chlore; et comme 36,5 d'acide chlorhydrique contiennent 1 d'hydrogène, et 74,6 de chlorure de potassium, 39,1 de potassium, 1 d'hydrogène et 39,1 de potassium jouent le même rôle, sont équivalents. L'équivalent de l'hydrogène étant 1, celui du potassium est donc 39,1.

Il est évident qu'au lieu de prendre l'équivalent du potassium vis-à-vis de l'hydrogène d'une manière directe, on pourrait y arriver d'une manière détournée; il suffirait de déterminer par la même méthode quelle est la quantité de potassium qui équivaut à 28 de fer ou à 100 de mercure, ou à 103,5 de plomb, etc., et comme 103,5 de plomb, 100 de mercure, 28 de fer équivaut à 1 d'hydrogène, le nombre trouvé serait le véritable équivalent du potassium, c'est-à-dire 39,1.

Ainsi, pour déterminer l'équivalent d'un élément A, on le combine à un autre corps B; d'autre part, on prend une combinaison de ce second corps B avec un troisième corps C dont l'équivalent soit connu, et l'on recherche quelle est la quantité de B qui y est combinée avec un équivalent de C. Soit P cette quantité de B. En dernier lieu, l'analyse du composé A + B étant faite, on calcule quel est le poids de A qui y est uni à un poids de B égal à P; ce poids de A représente son équivalent.

Cette méthode présente cependant un inconvénient qui n'eût permis le plus souvent d'en retirer aucune indication précise, si Mitscherlich ne l'avait complétée par une découverte remarquable. Excellente dans les cas où il s'agit de déterminer l'équivalent des

## THÉORIE ATOMIQUE

Dalton, le premier, eut l'idée d'expliquer les combinaisons par l'hypothèse d'atomes qui se juxtaposent. Il en déduisit que, ces atomes étant insécables, les quantités diverses d'un corps A qui s'unissent avec une quantité invariable d'un autre corps B doivent être entre elles dans des rapports rationnels et commensurables. En effet, un atome de la substance A, dans l'hypothèse, ne peut se juxtaposer qu'à un nombre entier d'atomes de la substance B. De l'hypothèse atomique Dalton déduisit donc *a priori* la loi des proportions multiples, loi qui, après avoir reçu la sanction de l'expérience, est devenue l'un des plus solides fondements de cette hypothèse.

La théorie atomique explique très-bien le fait des équivalents, c'est-à-dire ce fait que les corps entrent dans les combinaisons en quantités qui affectent le même rapport, bien que varient avec chacun d'eux.

Supposons, par exemple, qu'un atome de potassium pèse 39,1 fois autant qu'un atome d'hydrogène, et qu'un atome de chlore exige pour former une combinaison définie un atome de l'un ou de l'autre de ces corps. Le poids de l'atome de chlore restant le même dans les deux cas, il est évident qu'il faudra, pour le saturer, 39,1 fois plus de potassium en poids que d'hydrogène. De plus, comme ces rapports ne sauraient changer, lorsque la combinaison, au lieu de se faire entre deux atomes, se fait entre une quantité indéterminée d'atomes, il en résulte d'une manière générale que, pour saturer une quantité quelconque de chlore, il faut 39,1 fois plus de potassium que d'hydrogène; c'est ce fait que nous avons déjà exprimé en disant que l'équivalent du potassium est 39,1 relativement à celui de l'hydrogène pris pour unité. Dans la théorie atomique, les équivalents des corps deviennent donc le poids de leur atome comparé au poids de l'atome d'hydrogène pris pour unité, et ils prennent le nom de poids atomiques.

La notion de poids atomique a néanmoins, comme nous le disions plus haut, quelque chose de plus précis que celle d'équivalent. C'est encore un rapport, mais un rapport mieux déterminé.

Ainsi, supposons qu'un atome d'oxygène joue le même rôle qu'un atome d'hydrogène, que les deux corps, en un mot, puissent se substituer atome à atome ; l'expérience démontrant que 8 parties en poids d'oxygène en remplacent 1 d'hydrogène, il faudra en conclure que l'atome d'oxygène pèse 8 fois autant que l'atome d'hydrogène ; que le poids atomique de l'oxygène est 8.

Admettons maintenant que, pour remplacer un seul atome d'oxygène, il en faille 2 d'hydrogène. Comme 1 d'hydrogène est remplacé par 8 d'oxygène, 2 le seront par 16, ce qui nous conduira à admettre que l'atome d'oxygène pèse 16 fois plus que celui de l'hydrogène ; que le poids atomique de l'oxygène est 16.

Donc, selon que l'atome d'oxygène se substitue à 1 ou à 2 atomes d'hydrogène, le poids atomique du premier de ces corps est 8 ou 16, tandis que l'équivalent, qui ne représente qu'un simple rapport pondéral sans considération d'atomes, reste toujours égal à 8.

En même temps que les poids atomiques, nous devons considérer les poids moléculaires, c'est-à-dire les poids des molécules des corps simples ou composés rapportés à celui de l'atome d'hydrogène fait = 1.

Les corps composés ne sauraient avoir de poids atomiques, ils ont un poids moléculaire. Les corps simples ont à la fois un poids moléculaire et un poids atomique. Ces deux poids peuvent se confondre dans les cas spéciaux où la molécule ne contient qu'un seul atome.

En connaissant le poids atomique de tous les corps simples et le poids moléculaire, soit de ces éléments, soit des composés qu'ils forment, on a sur la constitution des corps des notions bien plus exactes que si l'on s'en tient au fait brutal des équivalents ; or, il est des moyens à l'aide desquels on peut arriver à cette connaissance.

**Poids moléculaires.** A l'état gazeux, tous les corps, qu'ils soient simples ou composés, ont sensiblement le même coefficient de dilatation, c'est-à-dire s'accroissent sensiblement d'une égale fraction de leur volume pour un égal accroissement de température ; tous se compriment également dans les mêmes circonstances, c'est-à-dire se réduisent à une même fraction de leur volume pour un même accroissement de pression, toutes choses étant égales d'ailleurs. La force élastique des gaz est donc à peu

près la même pour tous ; et comme on admet généralement que les molécules gazeuses sont en mouvement, et que la force élastique des gaz résulte du choc de leurs molécules contre les parois des vases qui les contiennent, la manière la plus simple d'expliquer qu'ils aient tous la même force élastique dans les mêmes conditions, consiste à admettre qu'à volumes égaux, la pression et la température étant la même, tous les gaz renferment le même nombre de molécules.

Cette supposition s'appuie encore sur la loi de Gay-Lussac, relative aux combinaisons des substances gazeuses. Si les corps gazeux sont formés de molécules, si les décompositions et les combinaisons résultent des échanges d'atomes qui se font entre les molécules, ou bien encore de la réunion de plusieurs de ces molécules en une, il est bien évident que le nombre des molécules qui ont réagi, et le nombre de celles qui proviennent de la réaction, doivent présenter un rapport simple. Les réactions ne peuvent en effet se produire qu'entre une molécule et une autre molécule, ou entre une molécule et deux molécules, et ainsi de suite. Or, si, à volumes égaux et dans les mêmes conditions de pression et de température, tous les gaz renferment le même nombre de molécules, le rapport simple qui doit exister entre le nombre des molécules réagissantes, et le nombre des molécules formées dans la réaction, devra s'observer également entre les volumes des gaz, avant et après la réaction, ce qui a lieu en effet.

Cette hypothèse qu'à égal volume, tous les gaz contiennent le même nombre de molécules, d'abord émise par Avogadro, puis développée par Ampère, est plus connue sous le nom de ce dernier.

Partant de ce principe, comparons volumes égaux de chlore et d'hydrogène : nous trouverons que le volume de chlore pèse 35 fois et demi plus que celui d'hydrogène, nous en concluons que la molécule de chlore pèse 35 fois et demi plus que la molécule d'hydrogène.

Mais, comme on le verra plus loin, la molécule d'hydrogène se compose de 2 atomes. Dès lors, l'atome d'hydrogène pèse moitié moins que sa molécule. Or, une molécule de chlore pesant 35 fois et demi autant qu'une molécule d'hydrogène, pèsera 71 fois autant qu'un atome du même corps. Si nous prenons le poids de l'atome d'hydrogène pour unité de poids moléculaire, comme nous l'avons pris pour unité de poids atomique, nous dirons donc que le poids moléculaire du chlore est 71.

Ainsi, on obtient le poids moléculaire d'une substance simple ou composée, en prenant sa densité de vapeur relativement à l'hydrogène, et en multipliant par 2 le rapport obtenu.

Comme ordinairement on prend les densités de vapeur relativement à l'air, et que l'air pèse 14,44 fois plus que l'hydrogène, il faut multiplier par 14,44 la densité relative à l'air pour la transformer en densité relative à l'hydrogène.

Enfin, comme pour obtenir le poids moléculaire d'une substance, on doit doubler le nombre qui indique cette dernière densité, il est plus court de multiplier la densité relative à l'air par le double du rapport 14,44, c'est-à-dire par 28,88. On obtient donc le poids moléculaire d'un corps en multipliant par 28,88 sa densité de vapeur prise relativement à l'air. Si tous les corps étaient volatils, rien ne serait donc plus facile que de déterminer leur poids moléculaire. Mais il n'en est point ainsi; une foule de corps composés se détruisent avant d'avoir atteint la température à laquelle ils se réduiraient en vapeurs. De là la nécessité d'un nouveau moyen pour déterminer les poids moléculaires.

Où les corps sont susceptibles d'entrer en combinaison avec d'autres corps, ou ils n'en sont pas capables. Prenons le premier cas et choisissons un exemple.

Soit l'acide stéarique (cet acide est un corps gras qui ne se volatilise que difficilement, et dans lequel un certain poids de potassium est susceptible de se substituer à un poids équivalent d'hydrogène). Ce composé a les plus grandes analogies de propriétés avec l'acide acétique, qui peut aussi subir le remplacement d'une partie de son hydrogène par du potassium et dont on a pu déterminer le poids moléculaire, ce corps étant volatil.

On constate par expérience : que le poids moléculaire de l'acide acétique est 60 et que, dans 60 parties de cet acide, 1 d'hydrogène peut être remplacé par 59,1 de potassium. Si l'on cherche ensuite quelle est la quantité d'acide stéarique qui peut se combiner à 59,1 parties de potassium en perdant 1 d'hydrogène, on trouve que cette quantité est égale à 284.

Ainsi donc 284 parties d'acide stéarique sont l'équivalent de 60 d'acide acétique, et comme 60 d'acide acétique représentent le poids de la molécule de cet acide, 284 doivent eux aussi représenter le poids de la molécule d'acide stéarique.

Cette méthode ne donne des résultats exacts qu'à la condition que

les corps que l'on compare aient la même constitution moléculaire. Ainsi, un acide comme l'acide acétique ne pourrait pas être comparé à l'acide citrique, ou du moins il faudrait faire intervenir dans la comparaison des considérations d'un autre ordre.

Pour obtenir le poids moléculaire d'une substance non volatile, mais susceptible d'entrer en combinaison avec d'autres corps, il suffit, par conséquent, de déterminer quelle est la quantité de cette substance qui équivaut au poids moléculaire connu d'une matière volatile de même constitution. Cette quantité représente le poids de sa molécule.

Enfin, si la substance non volatile est incapable d'entrer en combinaison, on la soumet à l'action de réactifs qui la détruisent. On obtient ainsi des composés nouveaux dont le poids moléculaire peut être déterminé par une des méthodes précédentes. On cherche ensuite à remonter du poids moléculaire de ces derniers à celui du corps primitif, en choisissant pour poids moléculaire de celui-ci le nombre qui permet d'exprimer la réaction de la manière la plus simple. Ce procédé donne des résultats moins certains que les précédents, auxquels il faut toujours recourir de préférence, lorsqu'on le peut.

Si nous prenons pour unité de volume gazeux le volume de la quantité d'hydrogène dont le poids correspond à notre unité pondérale, il est clair, d'après ce qui précède, que le poids du même volume d'un corps simple ou composé quelconque, considéré à l'état gazeux, représentera sa densité de vapeur relative à l'hydrogène et par conséquent la moitié de son poids moléculaire. Il suffira donc, pour avoir le poids moléculaire d'un corps, de multiplier par 2 le poids d'un volume de sa vapeur; ou, ce qui revient au même, le poids moléculaire d'un corps sera égal au poids de deux volumes de sa vapeur. On exprime ce fait en disant que tous les corps ont un poids moléculaire qui correspond à 2 volumes de vapeur.

Il est évident que si l'on prenait pour unité de volume gazeux un volume moitié moindre que le précédent, les poids moléculaires de tous les corps correspondraient à 4 volumes de vapeur.

La plupart des chimistes modernes, pour éviter les complications, acceptent le nombre 2; mais les auteurs anciens employaient le nombre 4, dont se servent encore aujourd'hui la plupart des auteurs élémentaires français.



On ne se basait pas, autrefois, sur l'hypothèse d'Ampère pour déterminer les points moléculaires.

Beaucoup de ces poids étaient mal connus et ne figuraient dans les traités de chimie que pour la moitié de ce qu'ils sont réellement. On avait alors des corps dont le poids moléculaire correspondait à 2 volumes et d'autres dont le poids moléculaire correspondait à 4 volumes. C'est à Gerhardt que revient l'honneur d'avoir remis en vigueur l'hypothèse d'Ampère, en montrant que tous les poids moléculaires doivent correspondre à un même volume gazeux, 2 ou 4 vol., selon l'unité adoptée.

Il est pourtant des corps composés, tels que l'acide sulfurique hydraté et le chlorhydrate d'ammoniaque, qui paraissent faire exception à cette loi ; leur poids moléculaire ne peut cependant en aucune manière être dédoublé ; on ne le pourrait qu'en dédoublant en même temps les poids atomiques des corps simples qui les constituent, et ces poids atomiques sont trop sûrement établis pour qu'il soit possible de les modifier. Cependant la densité de vapeur de ces composés est telle que leur poids moléculaire correspond à 4 ou 8 et non à 2 ou 4 volumes de vapeur (\*).

Pour expliquer cette anomalie, beaucoup de chimistes ont admis que dans les cas dont il s'agit, il y a dissociation, en d'autres termes, ils ont supposé que sous l'influence de la chaleur, les corps qui présentent des densités de vapeur anormales se décomposent en deux autres, occupant chacun le volume qu'occuperait le corps primitif seul s'il n'était pas dissocié, c'est-à-dire 2 volumes. Les deux corps réunis occupent donc, dans cette hypothèse, un volume double de celui qu'on serait en droit d'attendre, si le composé dont on détermine la densité de vapeur ne se décomposait pas, et il suffit que les deux corps séparés à chaud puissent se réunir de nouveau après refroidissement pour que l'opérateur ne s'aperçoive de rien et croie trouver une densité normale.

Un exemple étant nécessaire, je choisirai celui du chlorure ammonique. C'est, en effet, sur lui qu'ont porté des discussions nombreuses et importantes, et la question a été finalement résolue en faveur de la dissociation.

(\*) 4 ou 8, 2 ou 4, représentent la même chose à cause des différentes unités de volume adoptées. Ces différences nous obligent à mettre toujours, au lieu d'un seul nombre, deux nombres, dont l'un est le double de l'autre. Au lieu de dire 2, nous disons 2 ou 4.

Lorsqu'on chauffe une molécule de chlorure ammonique (composé de chlore, d'hydrogène et d'azote), celle-ci se décompose en une molécule d'acide chlorhydrique (composé de chlore et d'hydrogène) et en une molécule de gaz ammoniac (composé d'hydrogène et d'azote). Le nombre des molécules devenant double, le volume occupé par la vapeur doit doubler aussi. Lorsque ensuite le mélange d'acide chlorhydrique et de gaz ammoniac se refroidit, ces deux corps entrent de nouveau en combinaison, et les deux molécules se réunissent en une.

La dissociation du chlorure ammonique, fait capital actuellement acquis à la science, était resté pendant plusieurs années à l'état d'hypothèse; dès le début elle a été attaquée par M. Deville. Ce chimiste faisait remarquer que le gaz ammoniac se décompose lorsqu'on le chauffe seul à la température à laquelle avait été déterminée la densité de vapeur du chlorure ammonique, dès lors, disait-il, si, lorsqu'on vaporise du chlorure ammonique; ce sel se dissociait, le gaz ammoniac provenant de cette dissociation se décomposerait à son tour en hydrogène et azote, et le chlorure ammonique ne se reformerait pas par le refroidissement. Ce sel ne se produit pas, en effet, lorsqu'on met en présence de l'azote, de l'hydrogène et de l'acide chlorhydrique.

M. Wurtz répondit à cette objection que, dans une foule de cas, des composés qui, seuls, sont instables, acquièrent de la stabilité en présence d'autres corps avec lesquels ils n'entrent cependant pas en combinaison. Il en conclut que probablement, si le gaz ammoniac ne se décompose pas lorsqu'on prend la densité de vapeurs du chlorure ammonique, cela tient à ce que l'acide chlorhydrique avec lequel il est mêlé, lui donne de la stabilité, quoiqu'il ne soit pas combiné avec lui.

Peu de temps après, M. Pebal, à l'aide d'un appareil très-élégant, constata que la vapeur de chlorure ammonique renferme du gaz ammoniac libre. La question sembla résolue en faveur de la dissociation, elle ne l'était cependant pas.

M. Deville fit voir plus tard qu'un corps peut se dissocier en partie, bien avant la température où il se décompose d'une manière complète, et que cette dissociation, bien que pouvant être rendue évidente par des moyens appropriés, peut être cependant assez faible pour n'avoir aucune influence sur les résultats de la détermination d'une densité de vapeur.

La question était donc encore indécise. Pour la trancher, M. Deville fit une expérience fort ingénieuse. Il fit arriver de l'acide chlorhydrique gazeux et du gaz ammoniac dans un ballon de verre chauffé par la vapeur de mercure, c'est-à-dire à 350°, température à laquelle la densité du chlorure ammonique correspond à 4 volumes. Les deux gaz, avant de se rencontrer, avaient d'ailleurs circulé dans des serpentins placés dans la vapeur mercurielle, et possédaient par suite exactement la température de 350°. Dans ces conditions, leur rencontre produisit un dégagement de chaleur.

M. Deville crut pouvoir déduire de cette expérience qu'à 350° le chlorure ammonique ne se dissocie pas. Un corps ne pouvant, en effet, se former dans les conditions où il se détruit, si ce sel se dissociait à 350°, il ne se formerait pas à cette température ; le gaz ammoniac et l'acide chlorhydrique ne se combineraient donc pas dans les conditions que nous signalons, et conséquemment aucun dégagement de chaleur n'aurait lieu. Comme en fait de la chaleur s'est dégagée, on est obligé d'admettre que les deux gaz se sont combinés à 350°, ce qui prouve que la combinaison qu'ils forment ne se dissocie pas à cette température.

L'argument parut concluant, et pendant un moment on put le croire décisif. Il ne semblait plus possible de soutenir l'hypothèse de la dissociation. Mais voilà que M. Lieben, dans une communication fort lucide et fort intéressante à la Société chimique de Paris, vint de nouveau tout remettre en question.

M. Lieben rappela et démontra par une foule d'exemples, que lorsqu'une décomposition s'opère par la chaleur, et que les produits de cette décomposition ne sont pas enlevés à mesure qu'ils se forment, la décomposition n'est jamais complète. Il reste toujours, dans ce cas, une faible portion de la matière première indécomposée, et il se produit une espèce d'équilibre moléculaire.

Or, dit-il, si l'on renversait l'expérience, si au lieu de décomposer un corps, on mettait en présence les produits de sa décomposition à la même température, l'équilibre qui se produirait serait encore le même, car il serait tout à fait absurde de supposer que deux équilibres différents pussent exister dans des conditions identiques. La plus grande partie des corps mis en présence resteraient donc libres, mais une petite fraction de leurs masses entreraient en combinaison avec dégagement de chaleur.

En appliquant ces données à l'expérience de M. Deville, on peut dire, selon M. Lieben, que la plus grande partie des deux gaz est restée dissociée dans cette expérience, et que la portion de chlorure ammoniac formée a été assez petite pour n'influencer en rien la densité de vapeur.

Il est vrai qu'on peut dire aussi le contraire, et qu'entre ces deux manières de voir il est impossible de décider *a priori*; mais l'explication de M. Lieben prouve qu'il ne suffit pas, pour résoudre la question de démontrer que la rencontre du gaz ammoniac et de l'acide chlorhydrique à 350° produit un dégagement de chaleur; il faudrait en outre mesurer ce dégagement de chaleur.

M. Lieben a donc établi que l'expérience de M. Deville ne prouvait ni pour ni contre l'hypothèse de la dissociation, et que, jusqu'à une démonstration plus rigoureuse du contraire, on pouvait continuer à admettre cette hypothèse pour expliquer les densités de vapeurs anormales.

Enfin les travaux que M. Wurtz a exécutés sur le chlorhydrate d'amylène [composé d'acide chlorhydrique (chlore et hydrogène) et d'amylène (carbone et hydrogène)], sur le bromhydrate d'amylène [composé d'amylène et d'acide bromhydrique (brome et hydrogène)] et récemment sur le perchlorure de phosphore (phosphore et chlore), ont donné une confirmation éclatante à l'hypothèse de M. Lieben.

Lorsqu'on détermine la densité de vapeur de ces corps à une température suffisamment basse, ces densités correspondent à deux volumes conformément à la loi d'Ampère; de plus, elles sont normales, parce qu'elles restent constantes entre des limites de température assez étendues; de 94°—194° pour le chlorhydrate d'amylène.

Au contraire, lorsqu'on dépasse une certaine température, ces corps commencent à se dissocier, le chlorhydrate, en acide chlorhydrique et amylène, le bromhydrate, en amylène et acide bromhydrique; leur densité de vapeur devient alors plus faible, et il arrive même un moment où la dissociation étant à peu près complète, la densité observée paraît correspondre à 4 volumes. Par le refroidissement, les éléments dissociés se réunissent de nouveau. Toutefois des traces de gaz chlorhydrique ou bromhydrique non combinés se retrouvent après l'expérience, attestant ainsi la décomposition passagère que le chlorhydrate ou le brom-

hydrate a éprouvée. Si, pendant le refroidissement, l'amylène ne se combine pas de nouveau en totalité avec l'acide devenu libre à une température élevée, c'est que ces corps n'ont pas à froid assez d'affinité pour se saturer intégralement, comme cela a lieu pour les éléments du chlorure ammonique (ammoniaque et acide chlorhydrique).

D'autre part, M. Wurtz a montré qu'il se dégage de la chaleur, lorsqu'on dirige un courant d'amylène et un courant d'acide bromhydrique dans un ballon, en chauffant ce dernier à une température où le bromhydrate d'amylène, sans être complètement dissocié, a cependant une tension de dissociation déjà assez considérable.

Enfin M. Wurtz a donné récemment une dernière preuve, par ses recherches sur la densité de vapeur du perchlorure de phosphore. Cette densité, d'après les expériences de M. Cahours, correspond, à haute température (300°), à 4 volumes de vapeur, mais va en augmentant à mesure qu'on fait la détermination à une température plus basse, de telle sorte que vers 200° elle correspond à 5 volumes de vapeur. Le perchlorure de phosphore se comporte donc comme le bromhydrate d'amylène; il subit une dissociation progressive, si la température s'élève, en donnant du chlore et du protochlorure de phosphore (composé de chlore et de phosphore moins riche en chlore que le perchlorure). Ce rapprochement est d'autant plus justifié, que M. Wurtz a montré que la densité du perchlorure est normale, c'est-à-dire qu'elle correspond à 2 volumes de vapeur, pourvu qu'on la prenne à une température suffisamment basse; d'autre part, la vapeur du perchlorure à haute température est jaune, preuve évidente de la présence du chlore libre, formé par la dissociation.

Ces belles expériences de M. Wurtz montrent dès lors quelle est la véritable interprétation que l'on doit donner des travaux de M. Deville, et résolvent la question en faveur de l'hypothèse d'Amperè. Jusqu'ici on ne connaît aucune exception; toutes les fois qu'on a rencontré une densité anormale, on n'a pas tardé à démontrer que le corps ne se volatilise pas sans décomposition, qu'il subit une dissociation.

Quoi qu'il en soit en théorie, il n'en est pas moins vrai que dans la pratique on s'exposerait à commettre des erreurs en se fondant exclusivement sur les densités de vapeur pour déterminer les poids

moléculaires. Dans le cas où il y aurait dissociation, ces densités pourraient nous tromper et des moyens de contrôle propres à vérifier les poids moléculaires qu'elles nous fournissent sont nécessaires.

On connaît un composé d'hydrogène et de carbone (gaz des marais). Ce composé gazeux a une densité telle que son poids moléculaire, déduit de cette densité, est égal à 16; ce poids est-il exact? l'analyse démontre que le gaz des marais contient  $\frac{3}{4}$  de son poids de carbone et  $\frac{1}{4}$  d'hydrogène; si donc son poids moléculaire est 16, ce poids est formé de 12 parties de carbone correspondant à 1 ou plusieurs atomes de ce corps (\*), et de 4 parties d'hydrogène = 4 atomes, puisque l'atome d'hydrogène pèse 1.

L'atome étant une masse indivisible par les agents chimiques, la plus petite quantité d'hydrogène qui, dans le composé dont il s'agit, puisse être remplacée par un autre corps, est égale à 1, c'est-à-dire au quart de l'hydrogène contenu dans la substance; si donc le poids moléculaire du gaz des marais est en réalité 16, au  $\frac{1}{4}$ , ou aux  $\frac{2}{4}$ , ou aux  $\frac{3}{4}$ , ou aux  $\frac{4}{4}$  de l'hydrogène, on pourra substituer un autre corps simple.

Si, par contre, le poids moléculaire du gaz des marais n'était que 8, ce gaz serait composé de 6 de carbone et de 2 d'hydrogène. On ne pourrait donc remplacer que la moitié ou la totalité, mais jamais le quart de ce dernier élément par un autre.

Si enfin le poids moléculaire était 32, il y aurait 8 d'hydrogène, et ce métalloïde pourrait être remplacé par huitièmes.

Or, dans le gaz des marais, l'hydrogène est remplaçable par quarts, et seulement par quarts; son poids moléculaire déduit de sa densité de vapeur est donc exact. En résumé, les densités de vapeur donnent dans le plus grand nombre des cas les poids moléculaires exacts; cependant, comme il existe quelques exceptions, par suite de dissociation, il faut toujours contrôler les résultats qu'on en déduit par le système des substitutions.

**Poids atomiques.** Deux méthodes sont usitées pour la détermination des poids atomiques. L'une est fondée sur ce fait, que les atomes représentent la plus petite quantité d'un corps qui puisse entrer en réaction; l'autre s'appuie sur les chaleurs spécifiques.

(\*) Je dis un ou plusieurs, parce que je ne suppose pas le poids atomique du carbone connu.

Ces deux méthodes sont l'une et l'autre indispensables, parce qu'on ne peut pas toujours les employer indistinctement. Dans les cas où on peut les employer toutes deux, elles se prêtent un mutuel appui en se contrôlant l'une l'autre.

**PREMIÈRE MÉTHODE.** Pour déterminer le poids atomique d'un corps simple, il faut connaître d'abord les poids moléculaires du corps à l'état de liberté et de tous les composés ou au moins de la plus grande partie des composés qu'il forme ; il faut connaître, en outre, la composition quantitative de ses derniers. On choisit alors, comme étant le poids de l'atome, le plus grand nombre qui divise exactement les poids de ce corps contenus soit dans sa molécule libre, soit dans celle de ses divers composés. En effet, une molécule ne peut contenir qu'un nombre entier d'atomes, puisque ceux-ci sont indivisibles ; et le poids d'un nombre quelconque d'atomes est nécessairement toujours susceptible d'être divisé par celui d'un seul atome.

Un exemple est nécessaire pour bien faire comprendre ce qui précède, et comme nous avons hâte de justifier ce que nous avons dit au sujet de l'hydrogène, à savoir, que sa molécule contient 2 atomes, nous commencerons par la détermination du poids atomique de cet élément.

En comparant les poids de volumes égaux d'hydrogène libre, d'acide chlorhydrique, d'acide bromhydrique, d'acide iodhydrique, d'acide cyanhydrique, d'acide sulfhydrique, d'acide sélénhydrique, d'acide tellurhydrique, d'ammoniaque, d'hydrogène phosphoré, d'hydrogène arsénié, d'éthylène, de vapeurs d'alcool, d'éther, d'acide acétique, d'acide propionique, d'acide formique et d'eau ; on trouve pour les molécules de ces divers corps des poids qui, comparés à celui de la molécule d'hydrogène prise pour unité (et non à celui de l'atome que nous supposons encore inconnu), sont les

NOMS DES CORPS.	POIDS DE LEURS MOLÉCULES RAPPORTÉS AU POIDS DE LA MOLÉCULE DE L'HYDROGÈNE = 1.	COMPOSITION QUANTITATIVE DE LA MOLÉCULE.	
		QUANTITÉS D'HYDROGÈNE CONTENU DANS LA MOLÉCULE.	QUANTITÉS DE :
Hydrogène libre. . .	1	1	0 autre corps.
Acide chlorhydrique.	18.25	1/2	17,75 de chlore.
Acide bromhydrique.	40.50	1/2	40 de brome.
Acide iodhydrique. .	64.00	1/2	63,5 d'iode.
Acide cyanhydrique..	15.5	1/2	15 de carbone et azote réunis.
Eau. . . . .	9	1	8 d'oxygène.
Acide sulfhydrique. .	17	1	16 de soufre
Acide sélénhydrique.	40.75	1	39,75 de sélénium.
Acide tellurhydrique	65	1	64 de tellure.
Acide formique. . . .	25	1	22 de carbone et oxygène.
Ammoniaque. . . . .	8.5	3/2	7 d'azote.
Hydrogène phosphoré	17	3/2	15,5 de phosphore
Hydrogène arsénié. .	39	3/2	37,5 d'arsenic.
Acide acétique. . . .	50	2	28 de carbone et oxygène.
Éthylène. . . . .	14	2	12 de carbone.
Acide propionique. .	37	5	54 de carbone et oxygène.
Alcool. . . . .	25	5	20 de carbone et oxygène.
Éther. . . . .	57	5	52 de carbone et oxygène.

On voit, à l'inspection de ce tableau, que le plus grand commun diviseur des nombres  $\frac{1}{2}$ , 1,  $\frac{2}{3}$ , 2, 3, 5, qui expriment les poids d'hydrogène contenu dans les molécules des divers corps examinés, est  $\frac{1}{2}$ .  $\frac{1}{2}$  représente donc le poids de l'atome de ce corps. Tous les poids exprimés dans ce tableau se rapportant à la molécule d'hydrogène, dire que l'hydrogène a un atome qui pèse  $\frac{1}{2}$ , c'est-à-dire que son atome pèse la moitié moins que sa molécule.

Si l'on veut prendre pour unité le poids de cet atome au lieu de prendre pour unité le poids de la molécule, celle-ci devient égale à 2, et tous les nombres qui figurent dans le précédent tableau se trouvent doublés. Le tableau prend alors la forme suivante :



NOMS DES CORPS.	POIDS MOLECULAIRES RAPPORTÉS AU POIDS DE L'ATOME DE L'HYDROGÈNE = 1.	COMPOSITION QUANTITATIVE DE LA MOLECULE.	
		QUANTITÉS D'HYDROGÈNE CONTENU DANS LA MOLECULE.	QUANTITÉS DE :
Hydrogène libre. . .	2	2	0 d'aut. corps.
Acide chlorhydrique.	36,5	1	35,5 de chlore.
Acide bromhydrique.	81	1	80 de brome.
Acide iodhydrique. .	128	1	127 d'iode.
Acide cyanhydrique..	27	1	26 de cyanogène
Eau. . . . .	18	2	16 d'oxygène.
Acide sulfhydrique. .	34	2	32 de soufre.
Acide sélénhydrique.	81,50	2	79,50 de sélénium.
Acide tellurhydrique.	130	2	128 de tellure.
Acide formique. . . .	46	2	44 de carbone et oxygène.
Ammoniaque. . . . .	17	3	14 d'azote.
Hydrogène phosphoré	34	3	31 de phosphore
Hydrogène arsénié . .	78	5	75 d'arsenic.
Acide acétique. . . .	60	4	56 de carbone et oxygène.
Éthylène. . . . .	28	4	24 de carbone.
Acide propionique. . .	74	6	68 de carbone et oxygène.
Alcool. . . . .	46	6	40 de carbone et oxygène.
Éther. . . . .	74	10	64 de carbone et oxygène.

Maintenant que voilà justifiée notre hypothèse d'une molécule d'hydrogène composée de deux atomes, nous chercherons, toujours par le même procédé, à déterminer le poids atomique de l'azote, mais en rapportant, selon l'usage, tous les poids moléculaires au poids de l'atome et non plus au poids de la molécule d'hydrogène.

A cet effet, nous examinerons comme précédemment les poids moléculaires et la composition de divers composés azotés, volatils, tels que le protoxyde et le bioxyde d'azote, l'hypoazotide, l'acide azotique hydraté et anhydre et l'ammoniaque; nous pourrions former ainsi le tableau suivant :

NOMS DES CORPS.	POIDS DE LA MOLÉCULE RAPPORTÉ A CELUI DE L'ATOME D'HYDROGÈNE = 1.	TENEUR DES CORPS EN AZOTE.	TENEUR DES CORPS EN :
Protoxyde d'azote. . .	44	28	16 d'oxygène.
Bioxyde d'azote. . . .	30	14	16 d'oxygène.
Hypoazotide. . . . .	46	14	32 d'oxygène.
Acide azotique hydrat.	65	14	49 d'oxyg. et d'hydrogène réunis.
Anhydride azotique.	108	28	80 d'oxygène.
Ammoniaque. . . . .	17	14	3 d'hydrogène.
Azote. . . . .	28	28	0 d'autres corps.

On voit que l'azote entre dans la molécule des divers corps qui figurent dans ce tableau pour un poids égal tantôt à 14, tantôt à 28; 14 étant le plus grand commun diviseur de ces nombres, représentera le point atomique de l'azote. Il faudrait, pour fausser ces conclusions, qu'on découvrit une nouvelle combinaison de l'azote dans la molécule de laquelle entrerait une quantité de ce métalloïde égal à un sous-multiple de 14.

DEUXIÈME MÉTHODE. Cette méthode est due à Dulong et Petit.

Connaissant déjà les poids atomiques de plusieurs corps, ces savants reconnurent que, pour élever de 1 degré de chaleur des poids de divers corps simples proportionnels à leurs poids atomiques, il faut toujours la même quantité de chaleur. Ainsi, pour élever de 1 degré 23 grammes de sodium, 32 grammes de soufre, 118 grammes d'étain, 31 grammes de phosphore, etc., il faut une même quantité de chaleur, que nous représenterons provisoirement par la lettre P.

Comme nous savons d'ailleurs que la chaleur spécifique ou capacité calorifique est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré l'unité de poids d'un corps, cherchons la chaleur spécifique des quatre éléments ci-dessus en fonction de P.

P élève de 1 degré 23 grammes de sodium, or il est évident que, pour élever également de 1 degré 1 gramme, c'est-à-dire 23 fois moins de cet élément, il faudrait aussi 23 fois moins de chaleur, c'est-à-dire  $\frac{P}{23}$ ;  $\frac{P}{23}$  représente donc la capacité du sodium pour la chaleur.

On trouverait de même que la capacité calorifique du soufre est  $\frac{P}{32}$ , celle de l'étain  $\frac{P}{118}$ , celle du phosphore enfin  $\frac{P}{31}$ .

On voit que les chaleurs spécifiques décroissent quand les poids atomiques augmentent et cela dans le même rapport; si bien que les poids atomiques étant 1, 2, 4, 8, 16, etc., les chaleurs spécifiques seront entre elles comme  $1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{4} : \frac{1}{8} : \frac{1}{16}$ , etc.

L'arithmétique nous apprend que si les deux facteurs d'une multiplication subissent des modifications telles que l'un d'eux devienne 2, 3, 4, 5 fois plus petit quand l'autre devient 2, 3, 4, 5 fois plus grand, le produit est invariable. On doit donc obtenir toujours sensiblement le même nombre lorsqu'on multiplie les chaleurs spécifiques de divers corps (que l'on trouve à l'aide de moyens physiques) par les poids atomiques de ces mêmes corps.

Ainsi, le produit du poids atomique du sodium par sa chaleur spécifique sera  $\frac{P \times 23}{23} = P$ . Le produit du poids atomique du soufre par sa chaleur spécifique sera  $\frac{P \times 32}{32} = P$ .

Le nombre constant P a été déterminé numériquement, il est sensiblement égal à 6,666.

Veut-on connaître le poids atomique d'un corps simple, on détermine sa chaleur spécifique; soit C cette chaleur, et soit x son poids atomique inconnu, on a :

$$C \times x = 6,666; \text{ d'où l'on tire } x = \frac{6,666}{C}.$$

On trouve donc le poids atomique en divisant le nombre 6,666 par la chaleur spécifique, résultat de l'expérience.

Dulong et Petit ont exprimé cette loi en disant que les chaleurs spécifiques sont inversement proportionnelles aux poids atomiques.

Pour que cette méthode puisse être employée, il faut que les corps soient dans des états semblables lorsqu'on en détermine la chaleur spécifique. Ainsi, la chaleur spécifique des gaz ne pourrait pas servir à la détermination de leur poids atomique. Mais, dans ce cas, on arrive souvent au résultat cherché par un moyen détourné.

M. Wæstyn a reconnu que, dans un grand nombre de corps com-

posés, chaque atome conserve sa chaleur spécifique. Si un corps composé contient dans sa molécule 2, 3, 4 atomes simples, le produit de sa chaleur spécifique par son poids moléculaire sera 2, 3, 4 fois le nombre constant 6,666. Cette loi, malheureusement, ne se vérifie pas pour tous les composés ; néanmoins elle a permis de fixer le poids atomique de quelques gaz. On engage le gaz dans une combinaison qui puisse prendre l'état solide et dont on détermine la chaleur spécifique ; on multiplie le nombre qui représente cette capacité calorifique par le poids moléculaire de la combinaison, et en divisant le produit par 6,666, on a pour quotient le nombre des atomes qui constituent la molécule. L'analyse du composé étant faite, et le poids atomique de l'un de ses éléments constituants étant connu, le poids atomique de l'autre s'en déduit naturellement.

Soit, par exemple, qu'on veuille trouver par ce moyen le poids atomique du chlore, on le combinera au mercure et l'on déterminera la chaleur spécifique du chlorure de mercure formé ; on la trouvera égale à 0,06889 ; d'un autre côté, on déterminera le poids moléculaire du chlorure de mercure et on le trouve égal à 271. Or le produit de  $271 \times 0,06889 = 18,67$ , contenant 3 fois 6 ; on en conclura que le chlorure mercurique contient 3 atomes ; enfin l'analyse du chlorure mercurique a été faite et a montré que 271 de chlorure contiennent 200 de mercure et 71 de chlore. Nous savons d'ailleurs que le poids de l'atome de mercure est 200, et nous devons en conclure que la molécule contient 2 atomes de chlore, pesant 71 ; que le poids de l'atome de chlore est, par suite,  $\frac{71}{2} = 35,5$  ;

On a vu qu'au lieu de diviser 18,67 par 6,666 nous l'avons divisé seulement par 6. C'est qu'en effet le nombre P n'est pas absolument constant et varie entre 6 et 7 ; en prenant 6,666, nous n'avons fait que prendre une moyenne. Ceci, du reste, n'infirme en rien la loi ni les résultats qu'on en déduit. Les chaleurs spécifiques ne sont qu'approchées, parce qu'on ne peut point connaître la quantité de chaleur qu'absorbe un corps pour se dilater en même temps qu'il s'échauffe, quantité qui s'ajoute à la chaleur spécifique trouvée et fausse les résultats ; et d'autre part on n'a pas déterminé les chaleurs spécifiques dans des conditions identiques pour chaque élément. La chaleur spécifique n'est pas constante, mais augmente en général avec la température. Il faudrait

faire ces déterminations à des températures plus ou moins élevées, suivant le degré de fusibilité ou de volatilité du corps simple, et ne pas comparer indifféremment la chaleur spécifique du phosphore, déterminée entre 36 et 13, avec celle du carbone prise entre les mêmes limites de température. Cette remarque est d'autant plus justifiée, que M. Weber a montré tout récemment que la chaleur spécifique du diamant (carbone cristallisé) augmente avec la température dans une proportion énorme, de telle sorte qu'entre 0 et 200 sa valeur devient triple. Ce léger désaccord entre la théorie et l'expérience n'a aucun inconvénient : il tend, il est vrai, à donner des poids atomiques seulement approchés ; heureusement l'approximation est assez grande pour que les analyses des composés dans lesquels entrent les corps dont on cherche le poids atomique suffisent à fixer complètement ces derniers.

Soit à déterminer le poids atomique de l'argent; nous divisons le nombre 6,666 par sa chaleur spécifique 0,057 et nous obtiendrons ainsi  $\frac{6,666}{0,057} = 117$ ; si, d'un autre côté, nous combinons l'argent au chlore et que nous fassions l'analyse du chlorure d'argent, nous trouverons que pour 35,5 de chlore ce composé contient 108 d'argent.

35,5 représentant le poids d'un atome de chlore, on pourra considérer ce dernier comme combiné avec 1, 2, 3, 4..., etc., atomes d'argent. Or, dans ces diverses hypothèses, le poids atomique de l'argent serait 108, 54, 36, 27..., etc.

D'un autre côté, on pourra supposer dans le chlorure d'argent un seul atome d'argent pour 2, 3, 4, 5... etc., atomes de chlore, de sorte que la quantité d'argent combiné à 35,5 de chlorure ne représentât que la moitié, le quart, le cinquième..., etc., du poids de son atome. Dans ces diverses hypothèses le poids atomique de l'argent serait 216, 324, 452, 540..., etc.

On peut faire d'autres hypothèses encore ; mais, quelles qu'elles soient, elles donnent toutes pour le poids atomique de l'argent des valeurs qui s'éloignent considérablement du nombre 117 trouvé par la chaleur spécifique. Une seule supposition donne une valeur qui s'accorde sensiblement avec ce nombre, c'est celle dont on déduit le poids atomique 108; 108 devra donc être considéré comme le vrai poids atomique de l'argent (\*).

(\*) Trois corps, le bore, le silicium et le carbone, ont un poids atomique qui

Il nous reste maintenant à faire connaître les poids atomiques des différents corps simples. Comme nous avons déjà fait remarquer que ces poids ne se confondent point avec les anciens équivalents dont très-souvent ils représentent des multiples et avec lesquels ils ont même quelquefois des rapports moins simples, il est nécessaire aussi de les mettre en regard avec ces anciens équivalents ; d'autant plus que la plupart des ouvrages élémentaires français emploient encore ces derniers.

Nous donnons par suite ci-après une table formée de 5 colonnes dont la première contient les noms des corps élémentaires, la deuxième les symboles par lesquels on représente ordinairement ces corps, la troisième leur poids atomique, la quatrième leur équivalent et la cinquième leur chaleur spécifique.

Dans cette table nous avons marqué d'un astérisque les corps qui sont assez peu importants et assez peu connus pour que nous n'ayons pas à en faire l'histoire détaillée.

ne correspond pas à celui qu'on déduirait de leur chaleur spécifique. Mais ce fait ne saurait constituer une exception à la loi, car ces trois corps offrent, à l'état où nous les connaissons, des propriétés physiques trop différentes de celles des autres éléments, et comme nous l'avons déjà fait remarquer plus haut, on ne peut ici se servir des chaleurs spécifiques déterminées entre 0 et 100°, mais il faudrait les prendre à une température beaucoup plus élevée, plus rapprochée de leur point de fusion et d'ébullition. D'après les expériences récentes de M. F. Weber et de M. Dewar, la chaleur spécifique du carbone déterminée entre 1000 et 0° se rapproche beaucoup du chiffre théorique.

NOMS DES ÉLÉMENTS	SYMBOLES QUI LES REPRÉSENTENT	POIDS ATOMIQUES	ÉQUIVALENTS	CHALEURS SPÉCIFIQUES
Hydrogène. . . . .	H	1	1	»
Chlore. . . . .	Cl	35.5	35.5	»
Brome. . . . .	Br	80	80	0.0843
Iode. . . . .	I ou Io	127	127	0.0541
Fluor. . . . .	Fl	19	19	»
Oxygène. . . . .	O	16	8	»
Soufre. . . . .	S	32	16	0.1776
Sélénium. . . . .	Se	79.50	39.75	0.0762
Tellure. . . . .	Te	128	64	0.0474
Bore. . . . .	Bo	11	11	0.254
Carbone. . . . .	C	12	6	0.202
Silicium. . . . .	Si	28	14	0.181
Zirconium*. . . . .	Zr	89.6	33.6	»
Étain. . . . .	Sn	118	59	0.0562
Titane*. . . . .	Ti	50	25	»
Thorium. . . . .	Th	231.5	57.87	»
Azote. . . . .	Az	14	14	»
Phosphore. . . . .	P ou Ph	31	31	0.202
Vanadium*. . . . .	V	51.2	51.2	»
Arsenic. . . . .	As ou Ar	75	75	0.0814
Antimoine. . . . .	Sb	122	122 ou 61	0.0523
Bismuth. . . . .	Bi	210	155	0.0505
Uranium*. . . . .	U	120	60	»
Niobium*. . . . .	Nb	94	47	»
Tantale*. . . . .	Ta	182	91	»
Potassium. . . . .	K	39.1	39.1	0.1655
Sodium. . . . .	Na	23	23	0.2934
Lithium*. . . . .	Li	7	7	0.9408
Césium*. . . . .	Cs	133	133	»
Rubidium*. . . . .	Rb	85.56	85.56	»
Argent. . . . .	Ag	108	108	0.0570
Baryum. . . . .	Ba	137	68.5	»
Strontium. . . . .	Sr	87.5	43.75	»
Calcium. . . . .	Ca	40	20	»
Magnésium. . . . .	Mg	24	12	0.2499
Glucinium*. . . . .	Gl	9.3	4.65	»
Yttrium*. . . . .	Yt	61.6	50.8	»
Erbium*. . . . .	Er	112.6	56.3	»

NOMS DES ÉLÉMENTS	SYMBOLES QUI LES REPRÉSENTENT	POIDS ATOMIQUES	ÉQUIVALENTS	CHALEURS SPÉCIFIQUES
Cérium* . . . . .	Ce	92	46	»
Lanthane* . . . . .	La	93.6	46.8	»
Didyme* . . . . .	Di	95	47.5	»
Cuivre. . . . .	Cu	63.5	31.75	0.0952
Zinc. . . . .	Zn	65.2	32.6	0.0956
Cadmium. . . . .	Cd	112	56	0.0567
Mercure. . . . .	Hg	200	100	0.0319
Plomb. . . . .	Pb	207	103.5	0.0315
Cobalt. . . . .	Co	58.7	29.35	0.1067
Nickel. . . . .	Ni	58.7	29.35	0.1092
Chrome. . . . .	Cr	52.2	26.1	»
Manganèse. . . . .	Mn	55	27.5	0.1217
Fer. . . . .	Fe	56	28	0.1138
Aluminium. . . . .	Al	27.5	13.75	0.2143
Indium*. . . . .	In	113.4	56.7	0.057
Or. . . . .	Au	197	98.5	0.0324
Thallium. . . . .	Tl	204	204	0.0336
Platine. . . . .	Pt	197.5	98.75	0.0324
Osmium*. . . . .	Os	199.2	99.6	0.0511
Iridium*. . . . .	Ir.	198	99	0.0326
Rhodium*. . . . .	Rh	104.4	52.2	0.0580
Palladium*. . . . .	Pd	106.6	53.3	0.0593
Ruthénium*. . . . .	Ru	104.4	52.2	0.0611
Molybdène*. . . . .	Mo	96	48	0.0722
Tungstène*. . . . .	W ou Tu	184	92	0.0334

### NOTATION, FORMULES ET ÉQUATIONS CHIMIQUES

La notation chimique a pour objet de représenter les divers corps connus par des formules abrégées qui indiquent à la fois leur poids moléculaire, leur composition qualitative et leur composition quantitative; elles permettent de mieux saisir le sens des diverses réactions.

Pour construire ces formules on a pris un symbole qui repré-



sente l'atome (l'atome et non la molécule) de chaque corps simple ; ce sont ces symboles que nous avons placés dans le tableau précédent. Ces symboles s'obtiennent d'ordinaire en prenant la première lettre du nom du corps, ainsi O pour l'oxygène, S pour le soufre, etc. Quand il y a plusieurs corps dont le nom commence par la même lettre, on conserve cette première lettre seule pour désigner celui d'entre eux qui est le plus anciennement connu et on prend pour symbole des autres les deux premières lettres de leur nom. C'est ainsi que : soufre, sélénium, silicium, commençant tous par S, S signifie le soufre, tandis que pour le silicium on a pris Si, pour le sélénium Se.

Il y a pourtant quelques exceptions à cette règle : quelquefois, au lieu des deux premières lettres on prend la première et une de celles qui se trouvent dans le corps du mot. Ainsi de arsenic on a fait As, de strontium Sr, de stannum (étain) Sn, de stibium (antimoine) Sb, de hydrargyrum (mercure) Hg.

Enfin, de même que quelques symboles sont tirés du latin comme les trois derniers, il en est qui sont tirés de l'allemand. Le symbole du tungstène est W, de l'allemand Wolfram.

Tous les corps simples étant indiqués par un symbole qui représente non-seulement leur nature, mais encore le poids de leur atome, rien n'est simple comme de représenter une molécule composée. Il suffit d'écrire à côté les uns des autres les divers atomes qui la constituent, en mettant au-dessus de chacun d'eux un exposant qui en indique le nombre. On se dispense de mettre cet exposant lorsqu'il est égal à 1. Ainsi  $\text{SO}_3$  représente une molécule composée formée d'un atome de soufre et de 3 atomes d'oxygène.

Dans l'écriture symbolique, on est convenu d'écrire toujours le premier, celui des divers composants qui est le plus électro-positif. Mais cette règle n'est exactement suivie que pour les composés qui ne contiennent que deux éléments.

Il est clair que les formules dont nous parlons représentent la composition qualitative des corps. Il est clair aussi qu'elles représentent leur poids moléculaire. Une molécule ne pouvant avoir d'autre poids que la somme des poids des atomes qu'elle renferme, il suffit, pour savoir combien elle pèse, de multiplier le poids atomique de chaque élément par son exposant et d'additionner tous les produits. Ainsi la glycérine ayant pour formule  $\text{C}^3\text{H}^8\text{O}^5$ , son poids mo-



8,108 d'hydrogène et 43,243 d'oxygène (ces chiffres additionnés donnent 99,999 ou 100 à 1 cent-millième près).

Nous rechercherons ensuite son poids moléculaire, que nous trouverons égal à 74.

Cela fait, nous poserons les trois proportions :

1° 100 : 48,648 :: 74 :  $x$ , d'où  $x = 35,969$ , sensiblement 36.

2° 100 : 8,108 :: 74 :  $x$ , d'où  $x = 5,999$ , sensiblement 6.

3° 100 : 43,243 :: 74 :  $x$ , d'où  $x = 31,999$ , sensiblement 32.

Ainsi donc, une molécule d'acide propionique pèse 74 et contient 36 de carbone, 6 d'hydrogène et 32 d'oxygène.

L'atome de carbone pesant 12, nous aurons le nombre d'atomes de ce corps contenus dans la molécule d'acide propionique en divisant par 12 le poids qu'elle en renferme, c'est-à-dire 36, et comme  $\frac{36}{12} = 3$ , nous en concluons qu'elle contient 3 atomes de carbone.

De même, l'atome d'hydrogène pèse 1, et comme il y a 6 d'hydrogène, nous en concluons que l'acide propionique renferme 6 atomes de cet élément, puisque  $\frac{6}{1} = 6$ .

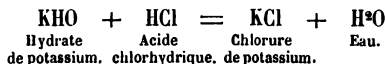
Enfin, l'atome d'oxygène pesant 16, nous diviserons par 16 le poids d'oxygène que la molécule renferme :  $\frac{32}{16} = 2$ , l'acide propionique renferme donc 2 atomes d'oxygène.

La formule de l'acide propionique sera donc  $C^3H^6O^2$ .

Quelquefois on est obligé d'indiquer qu'un certain nombre de molécules d'un même corps interviennent dans une réaction. On place alors, à gauche de la formule, un coefficient indiquant ce nombre. C'est ainsi que, pour exprimer 3 molécules d'acide propionique, on écrira  $3C^3H^6O^2$ .

Enfin, pour se rendre un compte exact des réactions, on est dans l'usage de les représenter par des équations. Dans ces équations le premier membre contient les formules des divers corps qui entrent en réaction, précédés d'un coefficient qui indique combien de molécules réagissent, et le second membre, qui est séparé du premier par le signe =, contient les formules des produits qui se forment dans la réaction. Comme rien ne se perd dans les actions chimiques, il est clair que le second membre de l'équation doit rigoureusement contenir tous les atomes qui existaient dans le premier, différemment groupés.

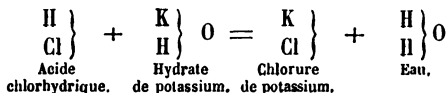
Comme exemple d'équation chimique nous représenterons la réaction qui donne naissance au chlorure de potassium KCl au moyen de l'acide chlorhydrique HCl, et de l'hydrate de potassium KHO.



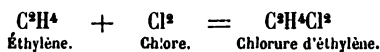
L'atome de potassium, les deux atomes d'hydrogène, l'atome d'oxygène et l'atome de chlore qui font partie du premier membre, se retrouvent dans le second, où ils sont seulement groupés d'une manière différente.

### RADICAUX, ATOMICITÉ DES RADICAUX.

On désigne en chimie, sous le nom de *radical*, tout atome ou tout groupe d'atomes, susceptible soit de se transporter d'un composé dans l'autre par voie de double décomposition, soit d'exister à l'état de liberté et d'entrer directement en combinaison. Si le radical est constitué par un simple atome, on le dit radical simple; s'il est constitué par des groupes atomiques, on l'appelle radical composé. En somme, le mot radical simple est synonyme d'atome, et le mot radical composé indique un groupe d'atomes jouant le même rôle qu'un atome simple. Les formules suivantes permettent de se faire une idée claire de ce qu'on entend par radicaux.



Les atomes H, Cl et K sont des radicaux simples, parce qu'ils se sont transportés d'un composé dans l'autre par voie de double décomposition et qu'ils ne renferment chacun qu'un seul atome. Mais le résidu HO de la molécule de l'hydrate de potassium s'étant également transporté de la même manière, doit être appelé radical composé, bien qu'il ne soit point isolable. L'exemple suivant montre un radical composé isolable :



L'éthylène pouvant se combiner directement au chlore, comme

le feraient certains corps simples, doit être considéré comme un radical composé.

La première propriété que l'on doit considérer dans un radical simple ou composé est sa capacité de saturation ; nous la considérerons d'abord dans les radicaux simples, et pour ne point embrouiller les idées, nous nous servirons ici de préférence du mot atome.

Nous avons vu ailleurs que l'équivalent de l'oxygène, c'est-à-dire la quantité pondérale de ce corps qui se substitue à 1 d'hydrogène ou qui s'y combine, est égale à 8, et que l'atome d'oxygène pèse 16, celui d'hydrogène pesant 1. C'est dire que 1 atome d'oxygène peut se combiner avec 2 atomes d'hydrogène ou tenir la place de 2 atomes d'hydrogène.

Nous avons vu, d'autre part, que l'équivalent du chlore est, comme son poids atomique, 35,5, ce qui montre que l'atome de chlore ne se combine ou ne se substitue qu'à un seul atome d'hydrogène.

Nous tirerons cette conséquence des faits qui précèdent : pour se saturer, un atome de chlore exige deux fois moins d'hydrogène qu'un atome d'oxygène n'en exige ; et pour exprimer ce fait nous dirons que le chlore est mono-atomique ou par abréviation monatomique, et que l'oxygène est diatomique.

Des considérations semblables nous montrant que 1 atome de bore peut se combiner à 3 atomes de chlore, c'est-à-dire à 3 atomes d'un corps monatomique ; que 1 atome de carbone peut se combiner à 4 atomes d'hydrogène ou de chlore, et que 1 atome de phosphore peut se combiner à 5 atomes de chlore, nous en concluons que le bore est triatomique, le carbone tétratomique et le phosphore pentatomique.

On appelle donc monatomiques les atomes ou les radicaux qui se combinent à 1 d'hydrogène ou en tiennent la place.

Diatomiques, ceux qui se combinent à 2 atomes soit d'hydrogène, soit d'un autre corps monatomique, ou qui en tiennent la place.

Triatomiques, ceux qui se combinent à 3 atomes d'hydrogène ou d'un autre corps monatomique, ou qui en tiennent la place, et ainsi de suite.

On aura peut-être remarqué que nous disons toujours : radicaux susceptibles de se combiner à  $n$  atomes d'hydrogène ou d'en tenir la place.

C'est qu'en effet se combiner à un atome ou s'y substituer est chose absolument semblable. Tout corps stable peut être considéré comme un édifice moléculaire en équilibre. Or, dans une molécule, chaque atome représentant une force, il faut absolument, pour qu'il y ait équilibre, que la résultante des forces provenant de tous les autres atomes lui soit égale et contraire. Si nous considérons la molécule de l'alcool  $C^2H^6O$ , nous ne pouvons en concevoir l'équilibre qu'à la condition que la force représentée par un des 9 atomes qui la constituent soit exactement équilibrée par la résultante des forces représentées par les autres 8 atomes. Ainsi  $C^2H^6$  doit représenter la même force que  $O$ ,  $C^2H^5O$  la même force que  $H$ ,  $C$  la même force que  $CH^5O$ , etc.

Ce point une fois établi, il est évident que substituer 1 atome de chlore, je suppose, à 1 atome d'hydrogène, c'est combiner cet atome de chlore avec le groupe atomique qui préalablement était uni à l'hydrogène, et était susceptible de l'équilibrer, qui a, par conséquent, la même valeur que 1 atome d'hydrogène isolé.

Pour trouver l'atomicité ou capacité de saturation des corps simples, on détermine le poids atomique de ces corps; on les combine ensuite avec la plus grande quantité possible soit d'hydrogène, soit d'un autre corps de même atomicité (chlore, brome, etc.). On voit ainsi avec combien de ces radicaux monatomiques est susceptible de se combiner au maximum l'atome du corps simple que l'on étudie. Ce nombre représente son atomicité.

Soit, par exemple, à trouver l'atomicité du carbone. Après en avoir déterminé le poids atomique, on reprend l'étude de ses diverses combinaisons hydrogénées et l'on trouve que celle dans laquelle un atome de carbone  $C$  est uni à la plus grande quantité d'hydrogène, a pour formule  $CH^4$ . On en conclut que le carbone est tétratomique. L'atomicité d'un corps simple représente donc la quantité maxima d'un radical monatomique qui peut se combiner avec ce corps. Il ne faudrait pas croire cependant qu'un corps polyatomique ne puisse faire d'autres combinaisons que celles qui correspondent à son atomicité maxima. Loin de là, il peut généralement faire toutes les combinaisons ou tout au moins un grand nombre des combinaisons moins saturées que la théorie laisse prévoir. Ainsi, en considérant une combinaison tétratomique d'un radical  $R$ ,  $R^4H^4$ , nous pouvons dire que les combi-

naisons  $R''H^5$ ,  $R''H^4$ ,  $R''H$  sont généralement possibles. Le cas se réalise très-bien pour l'étain. Ce métalloïde est susceptible de se combiner à 4 fois le radical composé monatomique  $C^2H^5$ , en donnant le corps  $Sn'' (C^2H^5)^4$ ; mais à côté de cette combinaison, l'étain donne encore les composés  $Sn'' (C^2H^5)^3$ ,  $Sn'' (C^2H^5)^2$ .

Plusieurs chimistes expriment le fait qui précède en disant qu'un même corps a plusieurs atomicités. Je préfère ne me servir du mot atomicité que pour indiquer la capacité de saturation maxima d'un corps, et considérer tous ceux de ses composés qui sont à un degré de combinaison inférieur comme des molécules non saturées, incomplètes.

Toutefois, comme il est bon d'avoir aussi un mot pour exprimer la valeur de substitution actuelle d'un atome ou d'un radical composé, nous désignerons cette propriété par le mot quantivalence, et nous dirons avec M. Hofmann : radicaux monovalents, bivalents, trivalents, etc.

Ainsi nous dirons que le plomb, dont l'atomicité est égale à quatre, n'est cependant que bivalent dans la plupart de ses combinaisons.

Nous exprimons la quantivalence d'un radical en surmontant le symbole qui le représente d'un certain nombre d'apostrophes. Cependant, afin de rendre la lecture plus facile, au delà de trois apostrophes nous employons de préférence les chiffres romains IV, V, VI, etc. Toutes les fois que le radical est monovalent nous ne mettons aucun signe. Ainsi :



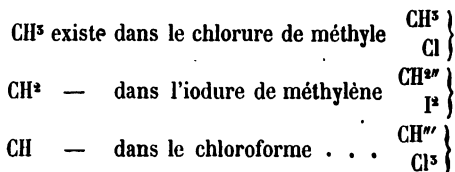
signifient : chlore monovalent, oxygène bivalent, bore trivalent, etc.

Il est bien important de remarquer que les apostrophes ou les chiffres romains marquent la valeur de substitution actuelle, la quantivalence d'un radical et non son atomicité. L'atomicité étant une valeur absolue, invariable, il est inutile de la marquer, elle est connue une fois pour toutes. La quantivalence, au contraire, variant suivant les composés dans lesquels un même radical est engagé, doit être indiquée avec soin.

L'invariabilité de l'atomicité des corps simples permet de rendre compte des radicaux composés. Ces derniers ne sont, en effet, que des molécules incomplètes, non saturées, qui ont une tendance naturelle à se compléter.

Ainsi le carbone C, étant saturé lorsqu'il est à l'état de gaz des marais  $\text{CH}_4$ , peut néanmoins n'être combiné qu'à 3, 2 ou 1 atome d'hydrogène; mais alors les molécules qui en résultent sont incomplètes et tendent à se compléter en prenant autant d'hydrogène qu'il leur en manque pour passer à l'état complet  $\text{Cx}_4$ . Par suite,  $\text{CH}_3$  ne pourra prendre que 1 atome monatomique; ce sera un radical monatomique.  $\text{CH}_2$  pourra prendre 2 atomes monatomiques ou 1 atome diatomique pour se compléter; ce sera un radical diatomique.  $\text{CH}$ , enfin, pourra prendre 3 atomes monatomiques ou 1 atome triatomique pour se compléter; ce sera un radical triatomique.

En fait les trois radicaux ci-dessus n'existent pas à l'état de liberté, mais on peut les considérer comme faisant partie de certains composés. Ainsi on peut admettre que le radical :



Comme on le voit par ces exemples, c'est encore par leurs combinaisons avec les corps monatomiques qu'on détermine l'atomicité des radicaux composés. On ne saurait déduire la capacité de saturation d'un radical des combinaisons qu'il forme avec les radicaux polyatomiques. Ceux-ci, en effet, ont la propriété de s'accumuler indéfiniment dans les molécules. M. Kekulé en a donné une explication hypothétique, mais très-élégante et fort probable.

Soit, par exemple, un atome diatomique: M. Kekulé le représente par le symbole  $\text{C} \circ \circ$  (\*), qui indique deux centres d'attraction distincts. Il est clair que si à chacun de ces centres d'attraction vient

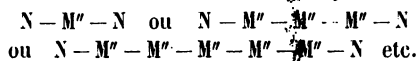
(\*) Dans ces figures les cercles ou les ellipses représentent des atomes, et les points ou les lignes placés à l'intérieur, leurs centres d'attraction. Lorsque les atomes sont placés à côté les uns des autres, les lignes qui se font vis-à-vis indiquent des affinités qui se saturent réciproquement. De simples points placés en dehors des atomes vis-à-vis les points intérieurs de ces derniers indiquent des affinités non satisfaites. Ainsi  $\text{C} \circ \circ \circ \circ$  veut dire un atome tétratomique et  $\begin{array}{c} \text{C} \text{---} \text{C} \text{---} \text{C} \\ | \quad | \quad | \\ \text{O} \quad \text{O} \quad \text{O} \end{array}$  signifie un atome tétratomique dont trois affinités sont satisfaites: deux par un atome diatomique et une par un atome monatomique; la quatrième restant libre.



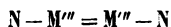
s'adapter un atome monatomique, l'atome diatomique sera saturé et incapable de se combiner à quelque autre corps que ce soit ; la molécule résultante aura la forme  $\begin{array}{c} \text{I} \text{ I} \\ \text{O} \text{ O} \end{array}$ . Mais si cet atome se combine par chacun de ses centres attractifs avec un des centres attractifs d'un autre atome diatomique comme lui, la molécule prend la forme  $\begin{array}{c} \alpha \quad \beta \\ \text{I} \text{ I} \quad \text{I} \text{ I} \\ \text{O} \text{ O} \quad \text{O} \text{ O} \end{array}$  où l'on voit qu'il reste en  $\alpha$  et en  $\beta$  deux centres attractifs non saturés. On pourrait avoir successivement la chaîne  $\begin{array}{c} \text{I} \text{ I} \text{ I} \text{ I} \text{ I} \text{ I} \\ \text{O} \text{ O} \text{ O} \text{ O} \text{ O} \text{ O} \end{array}$ , et d'autres chaînes plus compliquées encore, jusqu'à ce que deux atomes monatomiques viennent, suivant l'heureuse expression de M. Kekulé, fermer la molécule en lui donnant la forme



On peut rendre l'idée de M. Kekulé sans se servir des symboles graphiques, en employant simplement le symbole de l'élément surmonté de l'indice qui représente sa quantivalence, et les réunir, suivant le nombre d'affinités, satisfaites réciproquement par un, deux, trois, etc. petits traits. Soit  $M''$  l'élément diatomique et  $N$  l'élément monatomique, nous pourrions remplacer les trois symboles ci-dessus par



Dans le cas où deux éléments triatomiques échangent deux atomicités, et que la molécule est saturée par deux atomes monatomiques nous pourrions écrire



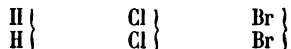
C'est cette manière de noter, plus simple et plus claire que celle de M. Kekulé, que nous emploierons dans le cours de l'ouvrage.

Les combinaisons avec les radicaux polyatomiques ne donnent donc aucune indication sur l'atomicité, et c'est toujours aux combinaisons avec les radicaux monatomiques qu'il faut avoir recours pour déterminer cette dernière.

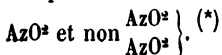
L'expérience a prouvé que les radicaux simples ou composés monatomiques n'existent pas d'ordinaire à l'état de liberté sans se doubler, c'est-à-dire sans avoir une molécule formée de 2 fois

leur atome ou de 2 fois le groupement atomique qui en tient la place.

Ainsi les radicaux H. Cl. Br., à l'état de liberté, existent sous la forme



et seulement sous cette forme. Il y a cependant à cette règle une exception connue : celle de l'hypoazotide, dont la formule est



Les radicaux diatomiques peuvent exister à l'état de liberté avec une molécule formée de 2 atomes, comme aussi avec une molécule formée d'un seul atome.

C'est ainsi que les radicaux O, S, Se, Te ont des molécules représentées par les symboles :



tandis que les symboles  $\text{Hg}''$ ,  $\text{Cd}''$ ,  $\text{C}^2\text{H}^{4''}$ ,  $\text{C}^3\text{H}^{6''}$  représentent à la fois l'atome et la molécule du mercure, du cadmium, de l'éthylène et du propylène. On ne connaît de radical simple triatomique que le bore, le thallium, l'or et l'indium ; parmi les radicaux composés triatomiques nous citerons l'allyle  $\left. \begin{array}{l} \text{C}^3\text{H}^{3''} \\ \text{C}^3\text{H}^{3''} \end{array} \right\}$ , le bioxyde d'azote  $\text{AzO}$ ,

et le cacodyle  $\left\{ \begin{array}{l} (\text{CH}^3)^2\text{As}'' \\ (\text{CH}^3)^2\text{As}'' \end{array} \right\}$ . On ne peut rien savoir sur la constitution de la molécule du bore, du thallium, de l'or et de l'indium, dont la densité de vapeur n'a pu être prise. Quant à l'allyle et au cacodyle, leur molécule est double ; mais, d'un autre côté, celle du bioxyde d'azote est simple.

Les radicaux tétratômiques connus dont on peut prendre la densité à l'état de gaz ont un atome qui se confond avec la molécule.

Parmi les radicaux pentatomiques connus, les uns ont une molécule formée de 2 atomes comme l'azote ; les autres, une molécule formée de 4 atomes comme le phosphore et l'arsenic.

(\*) La molécule de l'hypoazotide est réellement double à basse température, mais elle se dissocie progressivement à mesure que la température s'élève, et est entièrement dédoublée vers 150°.

Enfin les radicaux composés hexatomiques que l'on connaît à l'état de liberté, possèdent une molécule simple correspondant aux radicaux tels qu'ils entrent dans les combinaisons. On ne connaît encore rien sur la molécule des métaux hexatomiques, ceux-ci n'étant pas volatils.

De ces faits il ressort que si les radicaux d'atomicité impaire ont une tendance à avoir, lorsqu'ils sont libres, une molécule double, certains d'entre eux peuvent cependant, à la manière des radicaux d'atomicité paire, avoir une molécule simple et d'autres une molécule quadruple.

M. Delavaud, partant de l'opinion que les radicaux d'atomicité impaire ne peuvent jamais exister à l'état de liberté sans se doubler, a émis une hypothèse qui avait été déjà énoncée par M. Erlenmeyer, mais dont ce dernier chimiste n'avait pas déduit toutes les conséquences ; dans la pensée de M. Delavaud, cette hypothèse rend compte de la non-existence des radicaux d'atomicité impaire à l'état de liberté et du fait même de l'atomicité ; elle peut se résumer en deux propositions :

1<sup>o</sup> Aucune molécule non saturée ne peut exister à l'état de liberté ;

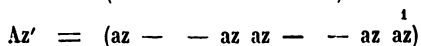
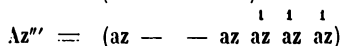
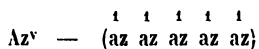
2<sup>o</sup> Tout atome polyatomique résulte de la réunion d'un certain nombre de sous-atomes monatomiques capables de se saturer entre eux ou d'être saturés par d'autres radicaux. Ainsi, l'atome de phosphore  $P^v$  serait formé de 5 sous-atomes, et l'on aurait  $P^v = (p^1 p^1 p^1 p^1 p^1)$ . Cela admis, on s'explique facilement qu'un radical puisse avoir plusieurs quantivalences, mais des quantivalences différant par un nombre pair d'unités ; les atomes hexatomiques pouvant être hexavalents, tétravalents, bivalents ou neutres, et les atomes pentatomiques pouvant être pentavalents, trivalents ou monovalents.

En effet, prenons l'atome de carbone  $C^{iv} = (cccc)$ . Si les 4 sous-atomes sont saturés par 4 radicaux étrangers, on aura  $(\overset{1}{c} \overset{1}{c} \overset{1}{c} \overset{1}{c})$  et le carbone  $C^{iv}$  fonctionnera avec son atomicité maxima.

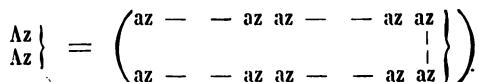
Mais pendant que deux  $c$  sont saturés par des radicaux étrangers, on peut supposer que les deux autres se saturent entre eux en donnant le carbone diatomique  $C^v = (c - c \overset{1}{c} \overset{1}{c})$ . Enfin, les 4 sous-atomes se saturent-ils réciproquement, on a le carbone

libre  $C^0 = (c - - cc - - c)$ . Le carbone a donc une atomicité absolue égale au nombre de sous-atomes que renferme son atome chimique, c'est-à-dire à 4, il peut de plus être bivalent et neutre.

Prenons maintenant l'azote ; son atomicité absolue est égale à 5 ; son atome chimique renferme 5 sous-atomes. De plus, il peut fonctionner avec les quantivalences, 5, 3, 1, mais jamais il ne peut être neutre. Il faut, en effet, 2 sous-atomes pour une saturation réciproque, et dès que le nombre de ces sous-atomes est impair, il en reste toujours au moins un de non saturé.

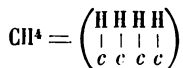


Si donc aucune molécule non saturée ne peut exister, l'atome d'azote, tel que nous venons de le décomposer, ne pourra jamais former une molécule, et la molécule de l'azote libre renfermera toujours au moins 2 atomes, pour que les 2 sous-atomes restés non saturés dans chacun de ces derniers puissent se saturer réciproquement ; la molécule de l'azote libre devient alors :



L'hypothèse de M. Delavaud est ingénieuse, elle présente cependant plusieurs difficultés.

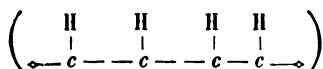
D'abord on ne voit pas comment les sous-atomes dont parle ce chimiste tiennent ensemble. Ainsi, dans le carbure d'hydrogène



les 4 sous-atomes de carbone ne sont reliés par rien.

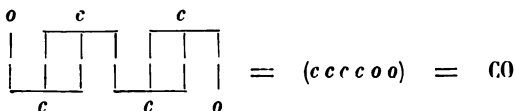
On pourrait cependant éluder cette difficulté, en admettant que les sous-atomes dont nous parlons sont tous, non mono, mais triatomiques, et en ne cherchant pas, bien entendu, à expliquer cette triatomicité, sans quoi on tomberait d'hypothèses en hypothèses jusqu'à l'infini. Dans ces conditions, chaque sous-atome échange-

rait 2 affinités avec son voisin, et il lui en resterait une de libre; le carbure  $\text{CH}^{\bullet}$  serait alors



La triatomicité des radicaux les plus simples et l'absence de tout radical monatomique s'accorderaient très-bien avec la triatomicité de l'iode et la triatomicité probable des autres corps halogènes.

La variabilité de la quantivalence d'un corps s'expliquerait tout aussi bien avec cette triatomicité des sous-atomes. Soit par exemple l'oxyde de carbone, on aurait :



Malheureusement il est un fait qui renverse l'hypothèse de M. Delavaud, c'est l'existence du bioxyde d'azote  $\text{AzO}$ . Dans cette hypothèse, ce radical ne peut avoir qu'une atomicité impaire. En effet, si l'on a 2 atomes, l'un d'atomicité paire, et l'autre d'atomicité impaire, de quelque manière qu'on les unisse, le produit aura toujours une atomicité impaire. D'un autre côté, il est impossible de douter que la formule  $\text{AzO}$  ne représente la vraie molécule du bioxyde d'azote. On ne peut, en effet, admettre ici aucune dissociation, puisque le corps dont il s'agit est gazeux. Or, une exception bien constatée suffit pour renverser une théorie absolue.

L'hypothèse de M. Delavaud a un autre inconvénient qui, même en dehors de l'exception que nous venons de signaler, nous aurait empêché de l'adopter. Elle sort des hypothèses permises dans les sciences expérimentales. C'est de la métaphysique. Dans les sciences expérimentales, les hypothèses ne doivent être que la généralisation, la systématisation des faits, qu'elles ne doivent jamais dépasser. La théorie de M. Delavaud dépasse les faits, puisqu'elle admet des sous-atomes dont rien ne manifeste l'existence. Si de telles hypothèses étaient permises, on pourrait en faire mille qui seraient aussi justifiées que celle de M. Delavaud et qui se combattraient réciproquement. Au lieu de nous tenir dans les limites

de l'expérience, nous en arriverions ainsi à raisonner dans le vide comme les métaphysiciens du moyen âge.

Quant à nous, ne voulant pas aller au delà des faits, nous admettons que des molécules non saturées existent à l'état de liberté, parce que l'oxyde de carbone et beaucoup d'autres corps en fournissent les preuves, et nous admettons aussi que les radicaux d'atonicité impaire peuvent exister sans se doubler, parce que cela a lieu pour le bioxyde d'azote  $AzO$  et l'hypoazotide  $AzO^2$ .

Ceci nous porte à examiner une idée de M. Wurtz, qui voyait autrefois une anomalie dans ce fait, que les molécules de l'arsenic et du phosphore sont  $P^4$  et  $As^4$ , au lieu de  $P^2$  et  $As^2$ , et que les molécules des métaux diatomiques sont  $Hg^2$ ,  $Zn^2$ ,  $Cd^2$  au lieu de  $Hg^1$ ,  $Zn^1$ ,  $Cd^1$ . Quoique M. Wurtz ait abandonné aujourd'hui cette idée, il nous paraît cependant utile de la réfuter, car les adversaires de la théorie atomique l'ont présentée souvent comme une objection sérieuse.

Cette idée n'est pas fondée. La loi d'Ampère ne dit pas qu'à égal volume, tous les gaz renferment le même nombre d'atomes, mais seulement qu'ils renferment le même nombre de molécules. S'il en était autrement, il faudrait établir une différence que rien ne justifie entre les corps simples et les corps composés. Dans ces derniers, en effet, le nombre d'atomes varie beaucoup d'un corps à l'autre, bien que le volume gazeux occupé par la molécule soit le même. Les poids moléculaires sont donnés par la loi d'Ampère, mais cette loi ne donne aucune indication sur les poids atomiques, c'est-à-dire sur le nombre d'atomes que la molécule renferme. Ce nombre peut être 1, 2, 4..., etc., il peut même varier pour un même corps, comme le prouvent les phénomènes d'allotropie (voir Allotropie et Ozone).

L'anomalie résiderait-elle dans cet autre fait, que des corps semblables, comme l'azote et le phosphore, n'ont pas des molécules semblablement constituées? Nous ne le pensons pas non plus. Analogie et ressemblance ne sont pas identité, et de ce que deux corps donnent naissance à beaucoup de composés semblables il ne faudrait pas en conclure que les deux séries doivent toujours être identiques. Enfin, en fût-il autrement, que dans le cas des atomes d'atonicité paire, nous ne voyons pas pourquoi ce serait le mercure qui serait anomal, plutôt que l'oxygène. S'il fallait une anomalie, elle serait plutôt du côté de l'oxygène, puisque à l'except-

tion de ce corps et de ses trois congénères, tous les radicaux connus d'atomicité paire ont une molécule simple.

Selon nous, les molécules des corps simples sont de tous points analogues à celles des corps composés, et comme ces dernières peuvent renfermer, selon les cas, un nombre fort variable d'atomes. La molécule du phosphore P<sup>4</sup> et la molécule du mercure Hg ne sont pas plus une anomalie à nos yeux que les molécules OH<sup>2</sup> ou SiCl<sup>4</sup>.

TYPES MOLÉCULAIRES.

Il y a une trentaine d'années, M. Dumas, généralisant les faits jusqu'alors connus relativement à l'action que le chlore et le brome exercent sur les substances organiques, appliquait pour la première fois l'idée de type à la chimie.

Un composé constituait à ses yeux un type moléculaire, dans lequel un ou plusieurs atomes d'un corps auraient pu être remplacés par un ou plusieurs atomes d'un autre corps sans que le type fût altéré. Ainsi :

L'acide acétique. . . . .	C <sup>2</sup> H <sup>4</sup> O <sup>2</sup> ,
L'acide chloracétique. . . . .	C <sup>2</sup> H <sup>3</sup> ClO <sup>2</sup> ,
L'acide bichloracétique. . . . .	C <sup>2</sup> H <sup>2</sup> Cl <sup>2</sup> O <sup>2</sup> ,
Et l'acide trichloracétique. . . . .	C <sup>2</sup> HCl <sup>3</sup> O <sup>2</sup>

appartenaient, selon M. Dumas, au même type, bien que, dans les trois derniers, l'hydrogène de l'acide acétique eût été partiellement remplacé par du chlore

Laurent, poursuivant la même étude, émit plus tard une idée démontrée fautive depuis; il admettait que les corps dérivés par substitution, se rapprochent toujours de ceux dont ils dérivent par les plus grandes analogies de propriétés.

Plus tard encore, M. Williamson fit remarquer que l'alcool C<sup>2</sup>H<sup>6</sup>O, déjà regardé alors comme un hydrate du radical éthyle C<sup>2</sup>H<sup>5</sup>, peut être considéré comme dérivant d'une molécule d'eau par la substitution de l'éthyle à la moitié de l'hydrogène



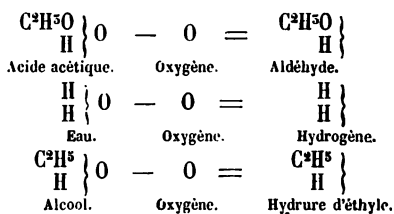
C'était un pas nouveau que venait de faire l'idée de type. On

n'exigeait plus, pour ranger deux corps dans un même type, qu'ils fussent semblables de propriétés, il suffisait qu'ils fussent susceptibles de subir des métamorphoses analogues.

Enfin, Gerhardt généralisa cette nouvelle manière de voir, il rangea à côté les uns des autres des corps ayant des propriétés très-dissimilaires. Ce qui constitua, dès lors, un type chimique, ce fut un système général de réactions, rien de plus.

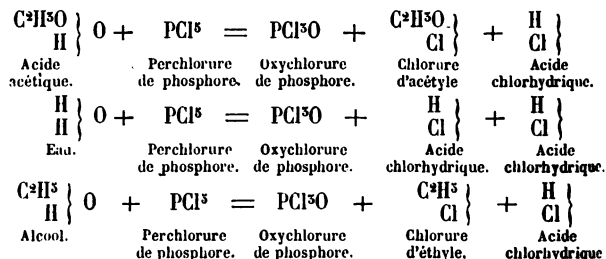
L'acide acétique, l'eau et l'alcool furent, d'après cette idée, rangés dans un même type.

Ces trois corps, en effet, subissent un ensemble de transformations analogues.



Ainsi, l'acide acétique peut être privé de son oxygène et donner naissance à l'aldéhyde ; l'eau peut également perdre son oxygène en donnant de l'hydrogène libre ; l'alcool enfin peut être désoxydé et fournir de l'hydrure d'éthyle.

De même, lorsqu'on traite les trois corps précédents par le perchlorure de phosphore, ils échangent leur oxygène contre une quantité équivalente de chlore et se dédoublent en donnant un chlorure de chacun des deux radicaux qu'ils contiennent :



En prenant le mot type dans cette acception, on ne préjugeait rien sur le groupement réel des atomes dans la molécule, on ne



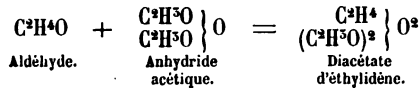
préjugeait rien non plus sur les analogies de propriétés que peuvent présenter les corps. On cherchait uniquement à exprimer les réactions d'une manière plus frappante et à rapprocher entre elles celles qui se ressemblent.

Si deux corps obéissent à deux systèmes différents de réactions, ils devaient être considérés comme appartenant à deux types différents.

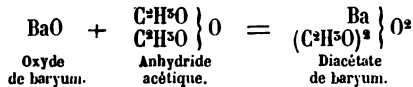
Si un corps obéissait à la fois aux deux systèmes de réactions qui caractérisaient deux types, il était considéré comme appartenant à ces deux types à la fois, et la forme que l'on donnait à sa formule devait être différente, selon qu'on voulait le représenter subissant l'une ou l'autre de ces deux séries de réactions.

On connaît un corps qui porte le nom d'aldéhyde et qu'on formulait généralement  $\left. \begin{matrix} \text{C}^2\text{H}^3\text{O} \\ \text{H} \end{matrix} \right\}$  en le rapportant au même type que l'hydrogène. On indiquait ainsi que ce corps se comporte, dans un certain nombre de réactions, comme l'hydrogène; qu'il y a entre lui et un autre composé nommé acétique le même rapport qu'entre l'hydrogène et l'eau.

Mais vient-on à traiter l'aldéhyde par l'anhydride acétique, la réaction suivante se produit :



Cette réaction est analogue à celle qui a lieu lorsqu'on fait agir l'anhydride acétique sur l'oxyde de baryum (baryte).



Pour exprimer cette dernière réaction, l'aldéhyde devait donc recevoir la formule  $(\text{C}^2\text{H}^4)^n\text{O}^*$  (\*), analogue à celle de la baryte  $\text{Ba}^n\text{O}$ , qui la fait dériver du type eau.

Gerhardt, après avoir ainsi établi le sens du mot type, admit que toutes les réactions pouvaient être rapportées à quatre types principaux les contenant toutes.

(\*) Le radical diatomique  $\text{C}^2\text{H}^4$  de l'aldéhyde a reçu le nom d'éthylidène.

Ces quatre types sont :

1° LE TYPE HYDROGÈNE  $\left. \begin{array}{c} \text{H} \\ \text{H} \end{array} \right\}$

En substituant des radicaux simples ou composés soit à un seul de ces deux atomes d'hydrogène, soit à tous les deux, on obtenait les formules :

- α. Des corps simples monatomiques ;
- β. Des radicaux composés isolables, de même atomicité ;
- γ. De certains corps formés par l'union de deux radicaux monoatomiques différents, simples ou composés ;
- δ. Des radicaux simples ou composés diatomiques, dont la molécule n'est formée que d'un seul atome ou d'un seul groupe en tenant lieu.

2° LE TYPE ACIDE CHLORHYDRIQUE  $\left. \begin{array}{c} \text{Cl} \\ \text{H} \end{array} \right\}$

On considérait comme appartenant à ce type tous les composés formés par la combinaison du chlore, du brome, de l'iode et du fluor, avec un radical monatomique quelconque. Il était logiquement inutile : on pouvait le faire entrer dans le type hydrogène en remplaçant seulement dans ce dernier un atome d'hydrogène par un atome de chlore. On l'avait conservé néanmoins, parce qu'il était commode dans la pratique.

3° LE TYPE EAU  $\left. \begin{array}{c} \text{H} \\ \text{K} \end{array} \right\} \text{O}$

Dans ce type se rangeaient les composés que l'oxygène, le soufre, le sélénium et le tellure peuvent former avec les divers radicaux monoatomiques, et une partie de ceux que ces mêmes corps forment avec les radicaux diatomiques.

Par exemple, en y remplaçant un H par K (symbole du potassium), on avait le composé  $\left. \begin{array}{c} \text{H} \\ \text{K} \end{array} \right\} \text{O}$ , et en y remplaçant 2H par 2K, on avait le composé  $\left. \begin{array}{c} \text{K} \\ \text{K} \end{array} \right\} \text{O}$

Enfin, en substituant dans ces deux formules les symboles du soufre S, du sélénium Se et du tellure Te à celui de l'oxygène, on obtenait les formules



de deux composés sulfurés, de deux composés sélénisés et de deux composés telluriés du potassium.



A ce type appartenait les corps qui dérivent de l'ammoniaque ou des composés dans lesquels l'azote de l'ammoniaque a été remplacé par du phosphore, de l'arsenic, de l'antimoine ou du bismuth.

A l'aide des quatre types précédents, on ne pouvait cependant représenter les formules et les réactions que d'un très-petit nombre des corps qui contiennent des radicaux polyatomiques. Pour remédier à cet inconvénient, Gerhardt créa les types condensés qui ne sont que les quatre types précédents doublés, triplés, etc.

On eut alors pour ces quatre types :

1° Le type hydrogène simple ou condensé,



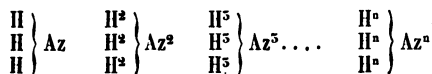
2° Le type acide chlorhydrique simple ou condensé,



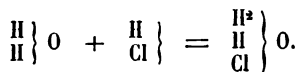
3° Le type eau simple ou condensé,



4° Le type ammoniaque simple ou condensé,



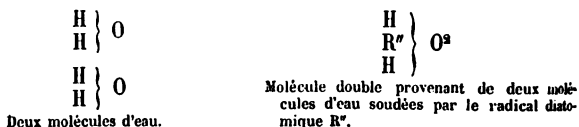
Enfin, on joignit à ces types les types condensés mixtes, formés par l'union d'une ou de plusieurs molécules d'eau avec une ou plusieurs molécules d'acide chlorhydrique, comme



Les découvertes nouvelles ont beaucoup augmenté l'importance de ces types condensés.

On a objecté à ces types condensés que des corps comme l'eau, l'hydrogène ou l'ammoniaque condensés, n'existant pas, ne pouvaient servir de type.

Cette objection n'était pas fondée. Les condensations moléculaires dont il s'agit ne peuvent avoir lieu que sous l'influence de radicaux polyatomiques. On ne conçoit pas, l'oxygène étant saturé dans l'eau, pourquoi l'eau se doublerait. On conçoit fort bien, au contraire, que si deux atomes d'hydrogène pris dans deux molécules d'eau différentes sont remplacés par un radical diatomique indivisible, les deux molécules d'eau se trouvent rivées en une seule, comme l'expriment les formules qui suivent :



lorsque à l'hydrogène de l'un de ces types on substituait un radical composé contenant lui-même ce métalloïde, pour distinguer l'hydrogène de ce radical de celui qui restait de la formule primitive, on était convenu de donner, dans tous les cas, à ce dernier le nom d'hydrogène typique.

En remplaçant, par exemple, dans la formule de l'eau  $\left. \begin{array}{c} \text{H} \\ \text{H} \end{array} \right\} \text{O}$ , un atome d'hydrogène par le radical éthyle  $\text{C}^2\text{H}^5$ , on avait la formule de l'alcool  $\left. \begin{array}{c} \text{C}^2\text{H}^5 \\ \text{H} \end{array} \right\} \text{O}$ , qui renfermait un atome d'hydrogène typique.

Telle était la théorie des types dans sa plus large acception. Nous n'hésitons pas à le dire, cette théorie a fait son temps. Que peut-elle exprimer en effet? Ou bien un type exprime seulement un système général de réactions, et sert uniquement à mieux montrer les relations qui existent entre plusieurs corps; c'est dans ce cas un moyen mécanique qui peut rendre des services, mais qui ne mérite pas de s'élever au rang de théorie. Ou bien un type a la prétention de réunir en un faisceau une série de corps fabriqués sur le même modèle, et dans ce cas il serait absurde, ainsi que le fait remarquer M. Kolbe, de supposer que la nature se soit limitée à quatre plans généraux dans lesquels tous les corps viendraient se classer. Ou bien enfin les types représentent les trois premiers degrés de condensation de la matière.

C'est cette opinion qui a été adoptée en dernier lieu par M. Wurtz. Mais il n'est pas difficile de concevoir que dans ce cas les types de Gerhardt sont insuffisants. Il faudrait autant de types qu'il y a d'atomicités différentes; et comme la condensation des radicaux polyatomiques peut donner naissance à des radicaux nouveaux d'une atomicité très-élevée, le nombre des types devient indéfini.

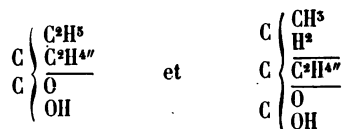
Aujourd'hui d'ailleurs le problème que la chimie se propose de résoudre est changé. Il ne s'agit plus de classer des réactions, il s'agit de déterminer la structure intime de la molécule en établissant de quelle manière les atomes sont reliés entre eux. Ce problème, la chimie a déjà pu l'aborder et dans une foule de cas, en chimie organique surtout, elle a pu le résoudre. Nos formules rationnelles ne représentent donc plus des types de double décomposition, elles ont pour but d'indiquer les liens qui existent entre les divers atomes constituant une molécule.

Pour se rendre compte de ces formules, si compliquées qu'elles puissent être, il suffit de savoir que les radicaux polyatomiques qui sont d'un côté de l'accolade, servent de lien aux radicaux d'atomicité diverse qui sont de l'autre côté. Ainsi la formule  $\left. \begin{array}{l} C^5H^5 \\ H \end{array} \right\} O$  signifie que dans l'alcool cinq atomes d'hydrogène sont directement unis au carbone, tandis que le sixième atome n'est relié avec lui que par l'intermédiaire de l'oxygène. On pourrait exprimer le même fait par une formule plus compliquée, mais plus précise, par exemple par la formule

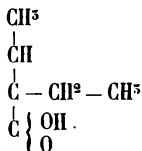


Le choix de la formule rationnelle dépend de ce que l'on veut indiquer. Dans un grand nombre de cas, les anciennes formules typiques suffisent. Mais il est ordinairement préférable d'employer les formules décomposées, qui font mieux ressortir à la fois la constitution et le système de réaction d'un corps et à l'aide desquelles on évite bien plus sûrement la confusion. Supposons, en effet, que l'on veuille donner la formule rationnelle de l'acide éthyl-crotonique  $C^6H^{10}O^2$ , on pourra l'écrire de diverses manières. Or, parmi ces diverses façons de l'écrire, deux paraîtront différentes, qui au fond indiquent la même structure. Ce sont

les formules.



qui, développées, prennent l'une comme l'autre la forme suivante :



nous nous servons de préférence des formules développées, car elles nous paraissent les plus précises et les plus capables de s'imposer à l'esprit.

Avec la théorie des types, il semblerait logique d'éliminer les mots : hydrogène typique, oxygène typique, azote typique, etc. Cependant comme, après tout, peu importe l'origine d'un mot lorsque ce mot est utile, nous conserverons celui-ci parce qu'il sert à désigner des faits importants.

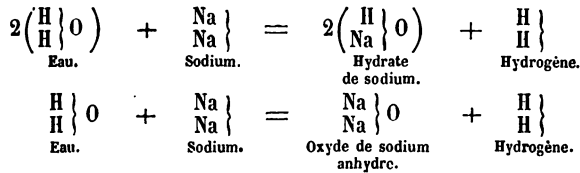
Nous avons dit que dans les formules rationnelles les radicaux polyatomiques placés d'un côté de l'accolade, servent de lien entre ceux qui sont placés de l'autre côté, et nous avons donné comme exemple la formule de l'alcool  $\begin{array}{c} \text{C}^2\text{H}^5 \\ \text{H}_z \end{array} \left\{ \text{O} \right.$ , qui indique que l'hydrogène  $\text{H}_z$  diffère de celui qui fait partie du groupe  $\text{C}^2\text{H}^5$  en ce qu'il n'est relié au carbone que par l'intermédiaire de l'oxygène. De quelque manière que l'on écrive la formule de l'alcool, ce fait restera vrai, et il est dès lors utile de posséder un mot pour distinguer cet atome d'hydrogène  $\text{H}_z$  de tous les autres. Le mot hydrogène typique ayant été employé jusqu'à ce jour dans cette acception, nous le conserverons.

Il en est de même de l'oxygène et de l'azote : nous appelons ces corps typiques dans tous les cas où, au lieu d'être unis par tous leurs centres d'attraction avec un même radical polyatomiques, ils sont unis par chacun de ces centres avec des radicaux divers auxquels ils servent de lien.

## SELS, ACIDES, BASES.

Lorsqu'on fait agir le sodium ou le potassium sur les composés hydrogénés du chlore, du brome, de l'iode ou du fluor, ou sur des composés hydrogénés plus compliqués qui renferme de l'oxygène, ou l'un de ses congénères (soufre, sélénium, tellure), il arrive toujours, dans le cas des composés chlorés, bromés, iodés ou fluorés, et très-souvent dans celui des composés oxygénés ou analogues, que le métal chasse une partie ou la totalité de l'hydrogène. Ce gaz se dégage alors à l'état de liberté, tandis que le métal prend sa place.

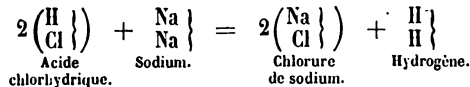
Cette réaction se produit très-facilement avec l'eau. Soumis à l'action du sodium, ce liquide échange la moitié ou la totalité de son hydrogène contre ce métal, en donnant de l'hydrate sodique ou de l'oxyde anhydre de sodium.



Disons en passant que tous les corps qui résultent de la substitution d'un métal à la moitié de l'hydrogène d'une molécule d'eau ou de plusieurs molécules d'eau réunies portent le nom d'hydrates.

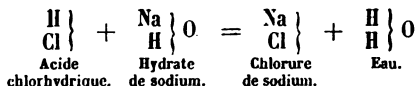
La réaction des métaux alcalins (potassium, sodium, etc.) sur les composés hydrogénés est trop générale pour pouvoir servir de base à quelque classification que ce soit. Mais le remplacement de l'hydrogène par un de ces métaux s'opère dans certains cas par un autre procédé moins général qui, par suite, peut devenir un moyen de classification.

Nous pouvons remplacer l'hydrogène de l'acide chlorhydrique par du sodium, en faisant agir le métal sur cet acide directement



Mais nous pouvons encore arriver au même résultat en faisant

agir l'acide chlorhydrique sur l'hydrate de sodium. Il se produit alors une double décomposition dans laquelle du chlorure de sodium et de l'eau prennent naissance :



Tous les corps qui, au contact des hydrates métalliques, ont la propriété de subir une double décomposition dans laquelle l'hydrogène ou au moins une partie de l'hydrogène qu'ils contiennent est remplacé par un métal, en même temps qu'il se forme de l'eau, ont reçu le nom générique d'*acides*.

*Les acides sont donc des composés hydrogénés dont l'hydrogène peut être remplacé, en totalité ou en partie, par des métaux, par voie de double décomposition à l'aide des hydrates métalliques. Leur hydrogène remplaçable prend le nom d'hydrogène basique.*

Quant aux hydrates qui jouissent de la propriété de faire la double décomposition avec les acides, ils ont reçu le nom générique de bases.

*Les bases sont donc des hydrates de métaux, ou de radicaux composés, susceptibles d'échanger leur métal ou leur radical composé contre l'hydrogène basique des acides par voie de double décomposition.*

Nous avons vu plus haut que, lorsque d'un corps composé on retranche un ou plusieurs des atomes qui le constituent, le résidu peut être considéré comme un radical d'une atomicité précisément égale à la somme de celles des atomes éliminés.

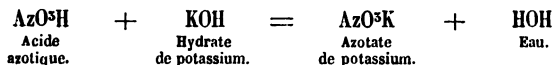
Si donc un acide renferme un ou plusieurs atomes d'hydrogène basique, et qu'on lui fasse perdre cet hydrogène, le résidu fonctionnera comme un radical d'une atomicité égale au nombre d'atomes d'hydrogène perdus par l'acide.

Soit, par exemple, l'acide sulfurique  $\text{SO}^4\text{H}^2$ ; si on lui enlève  $\text{H}^2$ , le résidu  $\text{SO}^4$  fonctionnera comme un radical diatomique. Prenons de même l'acide azotique  $\text{AzO}^5\text{H}$ ; en ôtant  $\text{H}$ , nous aurons le résidu  $\text{AzO}^5$  qui fonctionnera comme un radical monatomique. De même, si dans l'eau  $\text{OH}^2$ , nous supprimons un atome d'hydrogène, nous aurons le résidu monatomique  $\text{OH}$ . M. Cannizzaro a proposé de donner à ces résidus divers le nom de résidus halogéniques.  $\text{SO}^4$  sera donc le résidu halogénique de l'acide sulfurique  $\text{AzO}^5$ ; le résidu halogénique de l'acide azotique;  $\text{OH}$ , le résidu halogénique



de l'eau. Le même chimiste a proposé de donner à ce dernier résidu le nom spécial d'oxhydryle ou d'hydroxyle, pour la commodité du langage. Dans les cas de composés hydrogénés du chlore et de ses congénères, les résidus halogéniques sont les corps simples halogènes.

Cela posé, considérons de nouveau la double décomposition qui s'opère entre un acide et une base, entre l'hydrate de potassium et l'acide azotique, je suppose :



nous y voyons que l'acide azotique perd son hydrogène H et la base son métal K, il y a donc quatre résidus : d'une part le résidu halogénique  $\text{AzO}^{\text{K}}$  de l'acide azotique et le potassium, d'autre part l'oxhydryle OH et l'hydrogène. Les deux premiers de ces résidus s'unissent pour former de l'azotate de potassium, et les deux derniers se combinent pour former de l'eau.

On peut donc dire également bien, ou que l'azotate de potassium résulte de la substitution du potassium à l'hydrogène basique de l'acide azotique, ou que ce corps résulte de la substitution du résidu halogénique de l'acide azotique à l'oxhydryle que renfermait l'hydrate de potassium.

Les composés qui résultent de la réaction des acides sur les bases ont reçu le nom de sels.

Les sels peuvent donc être définis : *des produits qui résultent de la substitution d'un métal à l'hydrogène basique des acides; ou bien encore, des produits qui résultent de la substitution du résidu halogénique d'un acide à l'oxhydryle des bases.*

En outre de l'action réciproque qu'ils exercent les uns sur les autres, et qui sert à les caractériser, les acides et les bases solubles ont des propriétés qui permettent de les reconnaître avec facilité.

Les acides solubles ont une saveur aigre, et rougissent la teinture bleue de tournesol. Les bases solubles ont une saveur astringente et ramènent au bleu le tournesol rougi par un acide.

L'action des acides et des bases sur le tournesol s'explique comme il suit :

Le tournesol contient un sel bleu organique connu sous le nom de litmate de calcium. Lorsque dans ce corps on substitue

au calcium un autre métal quelconque, la couleur bleue du composé persiste. Mais si l'élément substitué est l'hydrogène, le corps coloré qui prend alors le nom d'acide litmique devient rouge.

Or, le résidu halogénique qui, dans le litmate de calcium, est combiné avec le calcium et qui, dans l'acide litmique, est uni à l'hydrogène, possède des affinités si faibles qu'il peut être déplacé avec facilité par le résidu halogénique de tous les autres acides, même des plus faibles ; dès lors le tournesol vire au rouge, sous l'influence des acides.

Au contraire, si l'on fait agir une base sur le tournesol rougi, c'est-à-dire sur l'acide litmique, il se forme un litmate métallique qui est bleu, et le tournesol reprend sa couleur première.

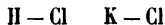
#### CONSTITUTION DES SELS.

Philosophiquement, les acides et les bases doivent être considérés comme des sels. En effet, reprenons le dernier exemple que nous avons donné, il est clair que l'azotate de potassium est analogue par sa constitution à l'acide azotique et à l'hydrate de potassium ; il ne diffère du dernier de ces corps qu'en ce qu'il renferme le résidu halogénique d'un acide au lieu du résidu halogénique de l'eau, et du premier qu'en ce qu'il contient du potassium au lieu d'hydrogène, comme élément électro-positif. Les acides sont donc des sels qui renferment de l'hydrogène au lieu d'un métal, comme élément électro-positif, et les bases sont des sels qui renferment de l'oxyhydre au lieu d'un résidu halogénique d'acide.

Les sels se divisent tout d'abord en deux classes : la première renferme des sels binaires, ce sont les chlorures, bromures, iodures et fluorures métalliques. Ils ont été nommés par Berzélius, sels *haloïdes* ; la seconde renferme les sels qui contiennent au moins trois éléments, ce sont les sels *amphides* de Berzélius. Bien que ces mots haloïdes et amphides répondent à une théorie qui est morte aujourd'hui (la théorie dualistique), nous les conservons cependant pour n'être pas obligé d'en créer de nouveaux.

CONSTITUTION DES SELS HALOÏDES.

La constitution des sels haloïdes est trop simple pour que nous y arrêtions. Ces sels résultent, en effet, de la juxtaposition de deux radicaux monatomiques. L'acide chlorhydrique et le chlorure de potassium peuvent être représentés comme il suit :



Mais la constitution de ces sels devient plus difficile à expliquer lorsqu'ils se combinent entre eux pour former des sels doubles, comme le chlorure double d'argent et de sodium  $\left. \begin{array}{l} \text{Ag} \\ \text{Cl} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \text{Na} \\ \text{Cl} \end{array} \right\}$

Alors, en effet, on ne voit pas, les quatre corps étant monatomiques, ce qui peut réunir la molécule saturée de chlorure d'argent à la molécule également saturée de chlorure sodique.

M. Kekulé suppose, pour expliquer ce fait, qu'il existe en chimie des combinaisons de deux ordres. Selon lui, il ne faudrait pas confondre les vraies combinaisons chimiques formées par la réunion des atomes, avec des combinaisons qui résulteraient de la réunion de plusieurs molécules, et auxquelles M. Kekulé donne le nom de combinaisons moléculaires. Cette hypothèse admise, on expliquerait par elle les sels haloïdes doubles, en admettant qu'ils résultent du rapprochement de deux molécules distinctes.

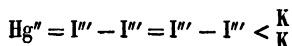
L'existence des combinaisons moléculaires ne saurait être mise en doute. La présence de l'eau dans les sels cristallisés (voir Eau de cristallisation) le prouve surabondamment. Toutefois, si l'on considère que ces combinaisons-là affectent presque toujours l'état solide ou liquide, on aura de la peine à admettre que les chlorures possèdent une telle constitution. M. Deville a, en effet, obtenu des chlorures doubles qui distillent régulièrement à une très-haute température.

Voici, à mon avis, comment on pourrait expliquer l'existence de ces corps. Bien qu'ordinairement monovalent, l'iode a une atomité absolue égale à 3. Cela se déduit de l'existence du chlorure

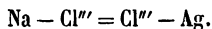
d'iode  $\text{ICl}_3$  et d'un composé I  $\left\{ \begin{array}{l} \text{OC}^2\text{H}^3\text{O} \\ \text{OC}^2\text{H}^3\text{O} \\ \text{OC}^2\text{H}^3\text{O} \end{array} \right.$  obtenu par M. Schützenberger,

et qui résulte de la substitution de trois oxacétyles aux trois

atomes de chlore du chlorure. Étant triatomique, l'iode peut fonctionner quelquefois avec une polyvalence égale à trois, et dès lors les iodures doubles sont faciles à expliquer. Le lien entre les deux molécules est l'iode triatomique. La formule  $\text{Hg}_2^{\text{K}} \left\{ 2 \left( \frac{\text{K}}{\text{I}} \right) \right\}$  de l'iodure double de mercure et de potassium peut s'écrire conformément à cette théorie  $\text{Hg}_2^{\text{K}} \left\{ \text{I}^4 \right\}$ , et on peut l'exprimer par la formule développée suivante :



Cela posé, le chlore, le brome et le fluor ont avec l'iode les plus grandes analogies. Bien que ces corps soient monovalents dans tous les cas sûrement connus, on peut cependant supposer qu'ils ont une atomicité réelle égale à 3, et que cette atomicité, qui ne se manifeste nulle part ailleurs, se manifeste dans les chlorures, les bromures et les fluorures doubles. Ces sels répondraient alors à des formules analogues à celles que nous avons données pour l'iodure de potassium et de mercure. Ainsi le chlorure double d'argent et de sodium serait  $\text{Ag}_{\text{Na}} \left\{ \text{Cl}^3 \right\}$ , et la molécule de ce corps pourrait être représentée par le dessin suivant :



Cette théorie des sels doubles haloïdes, bien que n'étant pas établie sur des preuves rigoureuses, me paraît préférable à celle qu'en donne M. Kekulé.

#### CONSTITUTION DES SELS AMPHIDES.

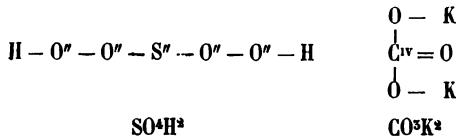
Ces sels renferment un nombre d'éléments au moins égal et quelquefois supérieur à trois ; il suffit cependant d'établir la constitution des sels ternaires, celle des sels qui renferment 4 éléments et au delà étant absolument la même.

Les sels ternaires contiennent toujours au nombre de leurs éléments de l'oxygène ou un de ses congénères. Une partie au moins de cet oxygène (ou de son congénère) sert à réunir le métal à l'autre corps simple ou à l'autre radical composé que ce sel ren-

ferme, et cette liaison exige autant d'atomes d'oxygène qu'il y a d'atomes de métal.

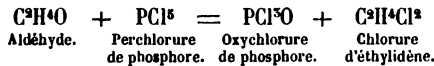
Ainsi, l'acide sulfurique  $SO^4H^2$  doit être écrit  $SO^{2n} \begin{Bmatrix} OH \\ OH \end{Bmatrix}$  pour indiquer que  $H^2$  sont réunis au groupe  $SO^{2n}$  par l'intermédiaire de deux atomes d'oxygène; le carbonate potassique  $CO^3K^2$  doit être écrit  $CO^n \begin{Bmatrix} OK \\ OK \end{Bmatrix}$  pour montrer que c'est encore par l'intermédiaire de l'oxygène que  $CO^n$  est uni à  $K^2$ .

Les formules suivantes rendent cette constitution facile à comprendre.



Mais il ne suffit pas d'affirmer que dans les sels le métal est uni au métalloïde par l'intermédiaire de l'oxygène ou d'un de ses congénères, il faut encore donner de ce fait une démonstration expérimentale. La démonstration la plus concluante est celle qui se déduit de l'action que le perchlorure de phosphore  $PCl^5$  exerce sur les acides et les corps oxygénés en général.

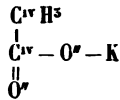
Cette action consiste en ce que le perchlorure de phosphore s'empare d'un atome d'oxygène pour donner naissance à de l'oxychlorure de phosphore  $PCl^5O$ , tandis que les deux atomes de chlore abandonnés par le perchlorure se substituent à l'atome d'oxygène que le corps oxygéné a perdu :



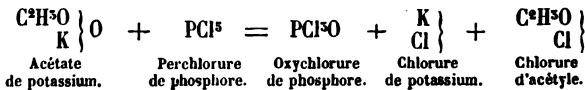
Or, toutes les fois que l'oxygène, qui est diatomique, a ses deux unités d'affinités saturées par un seul et même radical, il est évident que les deux atomes de chlore prennent sa place, c'est-à-dire se combinent à ce radical unique, en donnant naissance à un seul composé, comme dans l'exemple que nous venons de citer.

Si, au contraire, le composé oxygéné contient deux radicaux unis par l'intermédiaire de l'oxygène, c'est-à-dire si chacune des deux unités d'affinités de l'oxygène est saturée par un radical

différent, comme dans l'acétate de potassium  $\left. \begin{matrix} \text{C}^{\text{II}}\text{H}^{\text{III}}\text{O} \\ \text{K} \end{matrix} \right\} \text{O}$

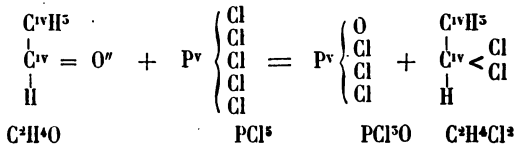


dès que le chlore se substitue à l'oxygène, ces deux radicaux se séparent, le chlore monatomique ne pouvant les réunir comme le faisait l'oxygène diatomique. On obtient alors deux corps chlorés différents ou deux molécules d'un corps chloré identique, s'il y a identité entre les deux radicaux combinés avec l'oxygène :

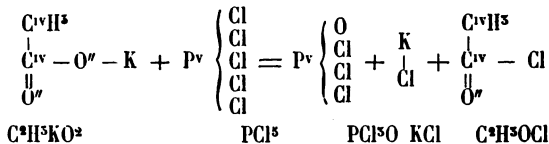


Les formules décomposées suivantes montrent clairement la différence entre les deux réactions que nous venons de donner à titre d'exemples :

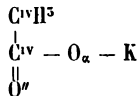
1<sup>er</sup> exemple :



2<sup>e</sup> exemple :



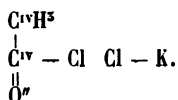
Il est clair, en effet, que si dans le composé  $\left. \begin{matrix} \text{C}^{\text{II}}\text{H}^{\text{III}}\text{O} \\ \text{K} \end{matrix} \right\} \text{O}_{\alpha}$



en substituant deux atomes de chlore à l'atome d'oxygène  $\alpha$ ,

SELS NEUTRES, SELS ACIDES, SELS BASIQUES, SELS DOUBLES. 69

molécule se trouverait représentée par la formule développée ci suit :



Cette formule montre que l'atome de chlore et l'atome de potassium qui sont à droite n'étant reliés par rien au reste de la molécule, devraient s'en séparer. C'est ce qui a lieu en effet.

La réaction que le perchlorure exerce sur les sels amphides montre donc que ces corps renferment toujours au moins deux radicaux simples ou composés unis par l'intermédiaire de l'oxygène. Celui de ces radicaux qui ne jouit pas de propriétés métalliques prend le nom de radical acide. Ces radicaux reçoivent généralement des noms qui se font en mettant la désinence *yle* à la place de la terminaison des noms génériques des sels dont ils font partie. Ainsi, le radical acide  $\text{C}^{\text{II}}\text{H}^{\text{S}}\text{O}$ , qui fonctionne dans les acétates, a pris le nom d'*acétyle*.

Les résidus halogéniques des acides ne sont que les radicaux des acides, plus l'oxygène qui est destiné à relier ces radicaux aux métaux. Ils reçoivent dans chaque cas un nom particulier qui se fait en mettant la préfixe *oxy* avant le nom du radical que le résidu halogénique renferme.

Ainsi, le radical  $\text{C}^{\text{II}}\text{H}^{\text{S}}\text{O}$  des acétates uni à K forme le résidu halogénique de l'acide acétique  $\text{C}^{\text{II}}\text{H}^{\text{S}}\text{O}\text{O}$ , le radical  $\text{C}^{\text{II}}\text{H}^{\text{S}}\text{O}$  ayant reçu le nom d'*acétyle*, le résidu halogénique  $\text{C}^{\text{II}}\text{H}^{\text{S}}\text{O}\text{O}$  se nomme oxyacétyle plus simplement oxacétyle.

SELS NEUTRES, SELS ACIDES, SELS BASIQUES,  
SELS DOUBLES.

Lorsque le radical d'un acide est monatomique, un seul atome d'hydrogène peut lui être relié par l'intermédiaire de l'oxygène. L'acide qui dérive de ce radical renferme alors une seule molécule d'oxyhydrate, il est dit monatomique. Lorsqu'au contraire un radical acide est polyatomique, chacun de ses centres d'attraction libres saturé par l'oxyhydrate OH, l'acide renferme alors un nombre de molécules d'oxyhydrate égal à celui qui indique l'atomicité du radical,

il est dit polyatomique, et le degré de son atomicité est déterminé par le nombre de molécules d'oxyhydryle qu'il renferme.

L'acide acétique  $C^2H^2O,OH$  est monatomique, l'acide sulfurique  $SO^2 \left\{ \begin{array}{l} OH \\ OH \end{array} \right.$ , diatomique, l'acide phosphorique  $PO^3 \left\{ \begin{array}{l} OH \\ OH \\ OH \end{array} \right.$ , triatomique, etc.

Il en est de même pour les bases. Si un métal est monatomique, il ne peut fixer qu'une seule fois le résidu halogénique de l'eau; s'il est diatomique, il fixera deux fois ce résidu; s'il est triatomique, il le fixera trois fois et ainsi de suite. Dans les premiers cas, les bases sont dites monatomiques et dans le second polyatomiques. Ici encore, le degré de leur atomicité est déterminé par le nombre de molécules d'oxyhydryle qu'elles renferment. Ainsi l'hydrate de potassium  $KOH$  est monatomique, l'hydrate de barium  $Ba^2 \left\{ \begin{array}{l} OH \\ OH \end{array} \right.$  dia-

tomique, l'hydrate ferrique  $Fe^3 \left\{ \begin{array}{l} OH \\ OH \\ OH \\ OH \\ OH \\ OH \end{array} \right.$ , hexatomique, etc.

Ces dénominations sont évidemment mauvaises. Nous avons vu, en effet, que les mots mono, di, tri... atomique ont une tout autre signification. Il vaudrait mieux, comme l'a conseillé M. Rogoisky, appeler les acides et les bases mono, di, tri... hydriques pour exprimer combien de fois ces corps contiennent le résidu halogénique de l'eau  $OH$ . Cependant les mots mono, di, tri..., atomique ayant prévalu, nous nous conformerons à l'usage, en avertissant toutefois qu'il est fort important de ne pas confondre les deux acceptions attribuées au mot atomicité. Cette confusion est d'ailleurs facile à éviter, puisque l'une des acceptions de ce mot s'applique uniquement aux radicaux, tandis que l'autre s'applique aux molécules qui renferment de l'oxyhydryle.

Dans un acide, l'hydrogène de l'oxyhydryle, autrement dit hydrogène typique, peut être remplacé en totalité ou en partie par un radical positif. Quand l'hydrogène est remplacé en totalité, les sel sont dits neutres, parce qu'ils ne possèdent plus aucune des propriétés qui caractérisent les acides.

Lorsque l'hydrogène typique n'est remplacé que partiellement, le



**SELS NEUTRES, SELS ACIDES, SELS BASIQUES, SELS DOUBLES. 71**  
 sels qui se forment conservent encore des propriétés acides, et on les nomme par cette raison *sels acides*.

Ainsi, dans l'acide sulfurique  $SO^{2''} \begin{cases} OH \\ OH \end{cases}$ , on peut substituer un atome d'un métal à un atome d'hydrogène, ou deux atomes d'un métal à deux atomes d'hydrogène.

Le sel que l'on obtient dans le premier cas  $SO^{2''} \begin{cases} OK \\ OH \end{cases}$  est un sel acide, et celui qu'on obtient dans le second cas  $SO^{2''} \begin{cases} OK \\ OK \end{cases}$  est un sel neutre.

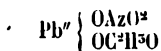
Quel que soit le nombre d'atomes d'hydrogène typique que contient un acide, cet acide ne peut jamais donner, avec un même métal, qu'un seul sel neutre; au contraire, le nombre de sels acides qu'il peut former est égal au nombre qui exprime son atomieité diminué d'une unité.

Les bases peuvent aussi, dans les doubles décompositions, subir le remplacement de la totalité ou d'une partie de leur hydrogène typique par des radicaux d'acides. Les sels qui en résultent sont dits neutres, lorsque tout leur hydrogène typique a été remplacé; lorsque au contraire la substitution n'a porté que sur une partie de cet élément, les sels formés conservent des propriétés basiques et sont, par cette raison, appelés sels basiques.

Dans l'hydrate de barium  $Ba' \begin{cases} OH \\ OH \end{cases}$ , par exemple, on peut remplacer les deux atomes d'hydrogène par le radical de l'acide acétique, l'acétyle,  $C^2H^5O$ ; le composé  $Ba'' \begin{cases} OC^2H^5O \\ OC^2H^5O \end{cases}$  qui résulte de cette réaction est un sel neutre. Mais on peut aussi ne substituer l'acétyle qu'à un seul atome d'hydrogène, et l'on a alors le sel basique  $Ba'' \begin{cases} OC^2H^5O \\ OH \end{cases}$ .

Lorsque les divers atomes d'hydrogène typique des acides ou des bases sont remplacés par des radicaux différents, les sels qui proviennent de ces substitutions portent le nom de sels doubles.

Le sulfate de potassium et de sodium  $SO^{2''} \begin{cases} OK \\ ONa \end{cases}$  est un sel double. Il en serait de même du corps qui aurait pour formule



Acéto-azotate de plomb (hypothétique).

Certains sels acides ou basiques, soumis à l'influence de la chaleur, perdent de l'eau et donnent naissance à de nouveaux sels que l'on nommait jadis *sels acides anhydres* ou *anhydro-sels*. Ainsi, le sulfate acide de sodium  $\text{SO}^{2n} \begin{cases} \text{ONa} \\ \text{OH} \end{cases}$ , lorsqu'on le chauffe, perd de l'eau et donne le sel



Ces composés, comme cela ressort nettement des découvertes faites en chimie organique par M. Wurtz et par M. Lourenço, sont en réalité des sels neutres dérivés de bases ou d'acides particuliers différents de ceux qui avaient donné naissance aux sels primitifs.

Le composé  $\text{SO}^{2n} \begin{cases} \text{ONa} \\ \text{O} \\ \text{ONa} \end{cases}$  par exemple, dérive de l'acide  $\text{SO}^{2n} \begin{cases} \text{OH} \\ \text{O} \\ \text{OH} \end{cases}$

Certains acides ont cette propriété remarquable que tous leurs atomes d'hydrogène typique ne peuvent pas être remplacés par des métaux positifs. On dit alors que leur basicité est moindre que leur atomicité, et le nombre qui exprime leur basicité est celui de leur hydrogène remplaçable.

L'acide lactique  $\text{C}^3\text{H}^4\text{O}^n \begin{cases} \text{OH} \\ \text{OH} \end{cases}$  renferme deux atomes d'hydrogène typique, il est donc diatomique. Mais un seul de ces atomes d'hydrogène est remplaçable par un métal positif, ce qu'on exprime par le mot *monobasique*. L'acide lactique est donc diatomique et monobasique.

Lorsque, au contraire, la totalité de l'hydrogène typique d'un acide peut être échangée contre des métaux positifs par double décomposition au moyen des bases, on dit que sa *basicité* égale son *atomicité*.

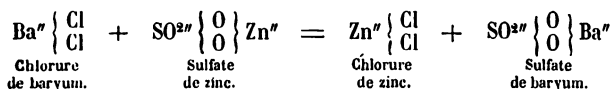
L'analogie fait prévoir des bases polyatomiques dont l'hydrogène typique ne serait que partiellement remplaçable par des radicaux acides. On dirait alors que leur *acidité* est moindre que leur *atomicité*. Une base  $\text{R}^n \begin{cases} \text{OH} \\ \text{OH} \\ \text{OH} \end{cases}$ , dans laquelle  $\text{H}^2$  seulement pourraient être remplacés par des radicaux négatifs, serait triatomique et biacide.

Lorsque les sels réagissent les uns sur les autres, ils donnent lieu à des doubles décompositions que l'on peut généralement prévoir en s'appuyant sur deux lois que nous allons exposer, et dont la découverte est due à Berthollet.

**Lois de Berthollet.** Lorsqu'on fait réagir deux sels (et par sels nous entendons désigner également les acides et les bases) par l'intermédiaire d'un dissolvant, si, par une double décomposition, il peut se produire un sel nouveau moins soluble que ceux qu'on a mélangés, ce sel se forme.

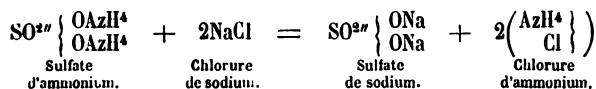
Lorsqu'on chauffe ensemble deux sels par voie sèche, si, par une double décomposition, il peut se produire un sel nouveau plus volatil que les sels précédemment mélangés, ce sel se forme.

*Exemples :* Mêlé-t-on une solution de chlorure de baryum  $Ba^n \left\{ \begin{array}{l} Cl \\ Cl \end{array} \right\}$  avec une solution de sulfate de zinc  $SO^{2n} \left\{ \begin{array}{l} O \\ O \end{array} \right\} Zn^n$ , comme une double décomposition entre ces corps peut produire du sulfate de baryum et du chlorure de zinc selon l'équation :



et comme, de plus, le sulfate de baryum est insoluble, la double décomposition a lieu.

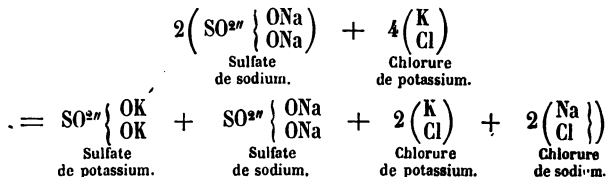
De même, si l'on chauffait du sulfate d'ammonium avec du chlorure de sodium, il se produirait du sulfate de sodium et du chlorure d'ammonium, à cause de la volatilité de ce dernier sel et selon l'équation :



Voici comment s'expliquent ces lois :

Toutes les fois que deux sels sont mis en présence et quelle que soit leur solubilité ou leur volatilité, une double décomposition a lieu et il se fait un partage entre les radicaux négatifs et les radicaux positifs. Ainsi, fait-on réagir du sulfate de sodium  $SO^{2n} \left\{ \begin{array}{l} ONa \\ ONa \end{array} \right\}$  sur du chlorure de potassium  $\left\{ \begin{array}{l} K \\ Cl \end{array} \right\}$ , il se produit un mélange de

ces deux sels avec du sulfate de potassium  $\text{SO}^{2''} \left\{ \begin{array}{l} \text{OK} \\ \text{OK} \end{array} \right\}$  et du chlorure de sodium  $\left. \begin{array}{l} \text{Na} \\ \text{Cl} \end{array} \right\}$ .



Si alors tous les sels sont solubles, les uns et les autres restent en dissolution, et il s'établit un certain équilibre entre eux ; si les produits nouveaux n'ont pas des couleurs différentes des produits primitifs, l'opérateur ne s'aperçoit de rien. Il en est de même si l'on opère par voie sèche et que tous les sels soient fixes. Mais si l'un des sels est insoluble ou volatil, il se dépose ou s'évapore, et l'équilibre se trouve rompu, puisqu'un des termes qui devaient servir à le constituer fait défaut. Un second partage s'opère alors entre les éléments qui restent. La nouvelle quantité du sel insoluble ou volatil s'élimine à son tour ; un troisième partage succède au second et les phénomènes se continuent ainsi jusqu'à ce que la totalité des radicaux qui, par leur union, pouvaient former un sel insoluble ou volatil, soient éliminés.

Selon M. Malaguti, lorsqu'il se fait ainsi un partage entre des sels divers, il ne se forme point des quantités équivalentes de chacun d'eux. Les quantités des sels qui forment paraissent être directement proportionnelles à l'énergie avec laquelle leurs éléments sont capables d'entrer en combinaison.

Si l'on a, par exemple, deux sels, dont l'un soit formé par l'union du radical électro-positif A avec le radical électro-négatif B, et l'autre par la combinaison du radical électro-négatif B avec un autre radical électro-positif A', l'énergie avec laquelle le radical A est susceptible de s'unir au radical B étant à celle du radical A' comme 3 : 2, les quantités de A + B et de A' + B qui prendront naissance seront également entre elles comme 3 : 2.

Supposons maintenant que l'on mêle 100 molécules d'acétate de baryum  $\text{Ba}'' \left\{ \begin{array}{l} \text{OC}^{\text{H}^{\text{O}}} \\ \text{OC}^{\text{H}^{\text{O}}} \end{array} \right\}$  et 100 molécules d'azotate neutre de

plomb  $Pb''$   $\left\{ \begin{array}{l} OAzO^2 \\ OAzO^2 \end{array} \right.$ . On verra par l'expérience une double décomposition s'effectuer entre 77 molécules de chacun de ces sels. Ce nombre 77, qui exprime la quantité moléculaire des deux sels qui se décomposent réciproquement, se nomme coefficient de décomposition du couple salin.

Si l'on renverse l'opération précédente, c'est-à-dire si l'on mêle 100 molécules d'azotate de baryum  $Ba''$   $\left\{ \begin{array}{l} OAzO^2 \\ OAzO^2 \end{array} \right.$  et 100 molécules d'acétate de plomb  $Pb''$   $\left\{ \begin{array}{l} OC^2H^3O \\ OC^2H^3O \end{array} \right.$ , 22 molécules de chaque espèce subiront seulement la double décomposition. Ce chiffre 22 sera le coefficient de décomposition du nouveau couple salin. Comme ajouté au précédent, il donne sensiblement 100, on en conclut que, quel que soit le couple mis en réaction, le mélange contient des proportions invariables des sels qui proviennent de l'échange réciproque des radicaux. On exprime ce fait comme il suit :

*Les coefficients représentant les quantités de sels décomposés dans deux couples salins contenant les mêmes radicaux groupés en ordre inverse, sont complémentaires.*

**Action de l'électricité sur les sels.** Lorsqu'un courant électrique est assez puissant pour décomposer un sel, l'élément électro-positif se rend au pôle négatif et le groupe négatif se rend au pôle positif.

Soumet-on à l'action d'un courant le sulfate de cuivre  $SO^4Cu''$ , le cuivre métallique se dépose au pôle négatif, et il arrive au pôle positif le groupe  $SO^4$  qui se scinde là en  $SO^5$  et  $O$ ; le reste  $SO^2$  fixe les éléments de l'eau et régénère  $SO^4H^2$ , tandis que l'oxygène devenu libre se dégage.

Dans le cas des sels de potassium ou de sodium, le fait est plus difficile à constater, le métal mis en liberté décomposant l'eau en donnant de l'hydrate de potassium  $KHO$  et de l'hydrogène libre.

Ainsi, lorsqu'on décompose le sulfate de potassium  $SO^2K''$   $\left\{ \begin{array}{l} OK \\ OK \end{array} \right.$ , on trouve au pôle positif de l'oxygène et de l'acide sulfurique, comme dans le cas précédent, mais au pôle négatif on recueille, au lieu du métal, de l'hydrate de potassium et de l'hydrogène.

Les anciens chimistes attribuaient l'oxygène et l'hydrogène dégagés dans cette réaction à la décomposition de l'eau. Quant au sel, ils le supposaient décomposé par la pile en anhydride sulfu-

rique  $\text{SO}^5$  et oxyde de potassium  $\text{K}^2\text{O}$ , corps qui, en s'unissant à l'eau, auraient ensuite fourni l'acide sulfurique hydraté et l'hydrate de potassium.

L'expérience suivante a condamné cette interprétation, et démontré que les faits se passent comme nous l'avons indiqué d'abord.

On place une dissolution concentrée de sulfate de potassium  $\text{SO}^{2''}$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{OK} \\ \text{OK} \end{array} \right.$  sur le mercure, et l'on fait traverser le liquide par un fort courant, en ayant soin que le fil négatif plonge dans le mercure. Le potassium devenu libre se combine alors à ce dernier métal, et l'amalgame formé étant plus difficilement attaqué par l'eau que le potassium pur, on peut, après quelque temps, recueillir une certaine quantité de ce corps en distillant le mercure.

Le phénomène est donc le même que celui qui se produit avec le sulfate de cuivre, et la différence apparente du résultat tient uniquement à l'action secondaire que le métal alcalin exerce sur l'eau.

On admet généralement aujourd'hui que, dans les décompositions électrolytiques, l'eau n'est jamais dédoublée; et si en faisant passer un courant électrique à travers de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, nous obtenons de l'hydrogène au pôle négatif, et de l'oxygène au pôle positif, ce n'est pas l'eau  $\text{H}^2\text{O}$ , mais bien l'acide sulfurique  $\text{SO}^4\text{H}^2$ , qui a subi une décomposition tout analogue à celle du sulfate de cuivre.

#### NOMENCLATURE.

La nomenclature chimique a été créée à la fin du siècle dernier. Le premier plan en fut proposé par Guyton de Morveau, et la nomenclature définitive fut arrêtée par une commission dont Lavoisier faisait partie.

La nomenclature ayant pris naissance à une époque où la chimie organique était presque entièrement à faire, ne s'applique qu'aux composés minéraux, ou plutôt, si elle s'applique aux combinaisons que forment les radicaux organiques, le nom de ces radicaux reste entièrement arbitraire.

*La nomenclature n'exprime même pas en chimie minérale tout*

ce que l'on serait en droit d'attendre d'elle. Un grand nombre de faits découverts depuis sa création sont venus la rendre incomplète.

Nous l'exposerons ici telle qu'elle est, en mettant, autant que possible, notre exposition en harmonie avec les théories que la majorité des chimistes professent aujourd'hui sur la constitution des corps.

**Noms des corps simples.** Le nom des corps simples est absolument arbitraire. On choisit généralement, pour désigner ces corps, des mots qui rappellent quelques-unes de leurs propriétés. Brome vient du grec βρωμος, mauvaise odeur; iode de ιωδις, violet, à cause de la belle couleur violette de la vapeur de ce métalloïde. A l'aide des noms des corps simples on forme ensuite ceux de divers composés.

**Noms des composés binaires.** 1<sup>o</sup> Règle générale. On termine par la désinence *ure* le nom du corps électro-négatif de la combinaison et on le fait suivre du nom du corps électro-positif. Ainsi, un composé de chlore et de fer se nomme *chlorure de fer*, un composé de soufre et de cuivre, *sulfure de cuivre*, etc.

A cette première règle, qui permet de connaître la composition qualitative d'un corps à la seule inspection de son nom, s'en joint une autre qui a pour but d'en faire connaître aussi la composition quantitative.

Si l'élément électro-négatif est monatomique, on fait précéder le nom générique du composé des préfixes *mono*, *bi*, *tri*, *tétra*, *sesqui*, etc.; *mono*, si, pour un atome électro-positif, le composé contient un seul atome électro-négatif; *bi*, s'il en contient deux; *tri*, s'il en contient trois; *tétra*, s'il en contient quatre; *sesqui*, s'il en contient trois pour deux du corps électro-positif (\*).

Ainsi, le composé KCl se nomme monochlorure ou simplement chlorure de potassium; le composé Hg<sup>II</sup>Cl<sup>2</sup>, bichlorure de mercure; le composé Au<sup>III</sup>Cl<sup>3</sup>, trichlorure d'or; le composé C<sup>IV</sup>Cl<sup>4</sup>, tétrachlorure de carbone, etc.

Si le corps électro-négatif est diatomique, on met encore avant le nom générique du composé les préfixes *mono*, *bi*, *tri*, *tétra*, *sesqui*, etc. La préfixe *mono* s'emploie alors quand le composé con-

(\*) Depuis l'adoption des nouveaux poids atomiques, il n'existe plus aucune formule de ce dernier genre, les corps que l'on croyait répondre à de telles formules ayant été reconnus posséder une autre constitution.

tient un seul atome du corps électro-négatif, soit pour un du corps électro-positif, si celui-ci a une atomicité paire, soit pour deux, s'il a une atomicité impaire ; la préfixe *bi* quand le composé renferme deux atomes du corps électro-négatif pour un du corps électro-positif, si celui-ci a une atomicité paire, ou pour deux s'il a une atomicité impaire, etc.

La préfixe *sesqui* s'applique à des corps dans lesquels, pour deux atomes positifs d'une atomicité paire, ou pour un nombre double d'atomes positifs d'une atomicité impaire, il y a trois atomes négatifs.

Enfin, si pour un seul atome négatif il y a plus d'un ou de deux atomes positifs, suivant l'atomicité, on doit faire précéder le nom du composé de la préposition *sous*.

*Ex.* :  $K^2S$  se nomme monosulfure de potassium ;

$Na^2S^2$  — bisulfure de sodium ;

$Na^2S^3$  — trisulfure de sodium ;

De même,  $Ba^2S$  est du monosulfure de baryum ;

$Ca^2S^2$  — du bisulfure de calcium ;

$Fe^2S^3$  — du sesquisulfure de fer ;

$Hg^2S$  — du sous-sulfure de mercure ;

Quelle que soit l'atomicité des éléments qui entrent dans un composé binaire, on en fait précéder le nom générique de la préfixe *per* ou *hyper*, pour indiquer qu'il est, de toutes les combinaisons que peuvent former ses deux composants, celle qui contient la plus forte proportion de l'élément négatif. Ainsi, le composé  $Fe^2Cl^6$  se nomme perchlore de fer ; le composé  $K^2S^5$ , persulfure de potassium.

Lorsque le corps électro-négatif a une atomicité supérieure à deux, on n'en indique plus les quantités.

2° *Première exception*. Elle porte sur les composés hydrogénés. Trois cas peuvent se présenter : tantôt ces composés sont fortement acides, tantôt ils sont neutres, tantôt ils sont d'une acidité faible.

*Lorsqu'ils sont fortement acides*, on les appelle acides et l'on fait suivre ce mot du nom du corps électro-négatif de la combinaison terminé par la désinence hydrique.

Le composé  $HCl$  est de l'acide chlorhydrique ;

Le composé  $HBr$ ... de l'acide bromhydrique...



*Lorsqu'ils sont neutres*, on déduit ordinairement leur nom de la règle générale ; pourtant, on peut encore les dénommer en ajoutant au mot hydrogène le nom du corps négatif terminé en *é* et devenu adjectif ; on peut, par exemple, nommer à volonté le corps  $\text{CH}^4$ , carbure d'hydrogène ou hydrogène carboné.

*Lorsqu'ils sont faiblement acides*, on peut leur appliquer soit un nom obtenu à l'aide de cette dernière règle, soit un nom obtenu à l'aide de la règle destinée à ceux qui sont très-acides ;  $\text{H}^2\text{S}$  se nomme acide sulfhydrique ou hydrogène sulfuré.

*3° Deuxième exception.* La deuxième exception s'applique aux combinaisons des métaux entre eux. Ces combinaisons se nomment alliages. On dit : alliage de fer et de cuivre, alliage de zinc et de plomb. Les alliages dans lesquels entré du mercure se nomment amalgames. Un alliage de mercure et d'argent s'appelle amalgame d'argent.

*4° Troisième exception.* La troisième exception, de beaucoup la plus importante, s'applique aux composés oxygénés.

Lorsqu'un composé oxygéné est susceptible de donner un acide en réagissant sur les éléments de l'eau, on le nomme anhydride, et l'on fait suivre ce mot du nom de l'acide auquel il peut donner naissance, nom dont nous verrons plus loin le mode de formation. Ainsi, le composé de phosphore et d'oxygène  $\text{P}^2\text{O}^3$  se nomme anhydride phosphorique, parce que, en réagissant sur l'eau, il produit de l'acide phosphorique.

Si le composé oxygéné ne réagit pas sur l'eau, mais réagit sur les bases pour former des sels, on fait encore son nom comme dans le cas précédent. A cet effet, on fait suivre le mot anhydride du nom de l'acide hypothétique qu'on obtiendrait en remplaçant par de l'hydrogène les métaux des sels auxquels ce composé binaire donne naissance.

Le carbone et l'oxygène, par exemple, forment un composé  $\text{CO}^2$ , lequel, en réagissant sur les bases, donne des sels dont la formule est  $\text{CO}^2\text{M}^2$ ,  $\text{M}'$  étant un métal monatomique.

L'acide que l'on obtiendrait en substituant  $\text{H}^2$  à  $\text{M}'^2$  dans cette formule serait  $\text{CO}^2\text{H}^2$ . S'il pouvait exister, son nom, déduit des règles qui seront exposées plus loin, serait *acide carbonique*. Le composé  $\text{CO}^2$  prendra donc le nom d'anhydride carbonique.

Souvent, au lieu de désigner les corps qui précèdent comme nous venons de le dire, on les nomme *acides anhydres*. Au lieu d'anhy-

*dride phosphorique* et d'*anhydride carbonique*, on peut dire *acide phosphorique anhydre*, *acide carbonique anhydre*. Les premiers de ces noms doivent cependant être préférés, parce qu'ils sont mieux en harmonie avec les idées modernes. Les composés binaires, en effet, ne peuvent être des acides à moins qu'ils ne contiennent de l'hydrogène.

Lorsque les composés binaires oxygénés ne peuvent ni réagir sur l'eau pour former des acides, ni réagir sur les bases pour former des sels, on les appelle oxydes et l'on met à la suite de ce mot la particule *de*, suivie elle-même du nom du corps simple combiné à l'oxygène. Le composé d'oxygène et de potassium  $K^2O$  se nomme oxyde de potassium.

Comme un même corps simple peut former plusieurs composés binaires avec l'oxygène, on est convenu, pour les distinguer entre eux, de faire précéder le mot oxyde des préfixes *mono*, *bi*, *tri*, *sesqui*, *sous*. Ces préfixes marquent entre l'oxygène et le corps auquel il est uni le même rapport qu'entre les corps électro-négatifs diatomiques et les corps électro-positifs en général, rapport que nous avons indiqué plus haut.

Ainsi, les composés  $K^2O$ ,  $Cu^2O$ ,  $Hg^2O$  se nommeront protoxydes de potassium, de cuivre, de mercure.

Les composés  $Mn^2O^3$ ,  $Ba^2O^3$  se nommeront bioxydes de manganèse, de baryum.

Le composé  $\left. \begin{matrix} Au''' \\ Au''' \end{matrix} \right\} O^3$  sera du trioxyde d'or ;

Le composé  $Fe^{2vi}O^3$  sera du sesquioxyde de fer ;

Le composé  $Hg^{2ii}O$  sera du sous-oxyde de mercure.

Quelquefois, pour désigner l'oxyde le plus oxygéné que puisse produire un corps sans donner un anhydride acide, on se sert du mot *peroxyde*. Dans le second des exemples précédents, on pourra dire à volonté bioxyde ou peroxyde de manganèse, bioxyde ou peroxyde de baryum. L'expérience montre, en effet, que  $BaO^3$  est la limite d'oxygénation du baryum, et que  $MnO^3$  est le composé de manganèse qui contient le plus d'oxygène sans être un anhydride acide.

5° *Quatrième exception*. Parmi les corps dont la nomenclature obéit aux règles ordinaires, se trouvent les composés binaires formés par le soufre, le sélénium et le tellure. Quelques-uns de ces derniers présentent vis-à-vis de certains acides sulfurés, séléniés

ou telluriés, les mêmes rapports que les anhydrides oxygénés vis-à-vis des acides qui en dérivent. On devrait alors nommer à volonté ces corps d'après les règles générales, ou bien en faisant suivre le mot anhydrosulfide du nom des acides auxquels ils correspondent. Le corps  $CS^2$  différant de l'acide sulfocarbonique  $CS^2H^2$  par  $H^2S$ , comme l'anhydride carbonique  $CO^2$  diffère de l'acide carbonique hypothétique  $CO^2H^2$  par  $H^2O$ , pourrait être nommé bisulfure de carbone ou anhydrosulfide sulfocarbonique.

**Composés ternaires.** Tous les composés ternaires dont la nomenclature obéit à des lois sont des sels, qui tantôt sont oxygénés et tantôt ne le sont pas. Les règles sont différentes dans ces deux cas.

1° LES SELS SONT OXYGÉNÉS. On leur donne un nom générique commun à tous ceux qui contiennent le même résidu halogénique, et un nom spécifique pour distinguer entre elles les diverses espèces d'un même genre.

*Formation du nom de genre.* On remplace la dernière syllabe du nom du corps simple qui, dans le résidu halogénique, est uni à l'oxygène par la terminaison *ate* ou *ite*.

Lorsque deux genres de sels ne diffèrent entre eux que par la quantité d'oxygène, on réserve la désinence *ate* au genre le plus oxygéné, et la désinence *ite* au genre le moins oxygéné.

Souvent les genres des sels qui ne diffèrent que par la quantité d'oxygène dépassent le nombre de deux. On forme alors le nom générique de ceux dont le résidu halogénique contient plus d'oxygène que celui des genres en *ite* et moins que celui des genres en *ate*, en mettant la préfixe *hypo* avant le nom en *ate*.

On met de même la préfixe *hypo* avant le nom en *ite* pour indiquer un genre de sels moins oxygénés que celui auquel répond ce nom.

Enfin, pour indiquer un genre de sels plus oxygénés que celui qui reçoit le nom en *ate*, on fait précéder ce dernier de la préfixe *per* ou *hyper*.

Ainsi, il y a toute une classe de sels dont le résidu halogénique est constitué par du chlore et de l'oxygène. Dans cette classe se trouvent cinq genres, ce sont :

Le genre hypochlorite . . . . .	$ClO-R'$ ,
Le genre chlorite . . . . .	$ClO^2-R'$ ,

Le genre hypochlorate (ce genre ne peut pas exister ; nous le supposons pour l'intelligence des règles de la nomenclature) . . . . .	$\text{Cl}^{\circ}\text{O}^{\circ}-\text{R}'$ ,
Le genre chlorate . . . . .	$\text{ClO}^{\circ}-\text{R}'$ ,
Le genre perchlorate . . . . .	$\text{ClO}^{\circ}-\text{R}'$ .

Comme on le voit, le genre hypochlorite est le moins oxygéné de tous, et la quantité d'oxygène augmente successivement dans les genres suivants auxquels correspondent les noms : *chlorite*, *hypochlorate*, *chlorate* et *perchlorate*.

*Formation du nom spécifique.* Le nom spécifique n'est autre que celui du corps simple ou du radical électro-positif. Ainsi, en reprenant un des exemples précédents :

Si, dans le genre chlorate, on met au lieu de R' un radical déterminé comme le potassium, le sodium, l'argent, on aura :

Le chlorate de potassium ou chlorate potassique	$\text{Cl}^{\circ}\text{O}$ . K,
Le chlorate de sodium ou chlorate sodique. . .	$\text{Cl}^{\circ}\text{O}$ . Na,
Le chlorate d'argent ou chlorate argentique. . .	$\text{Cl}^{\circ}\text{O}$ . Ag.

Il peut arriver qu'un même radical électro-positif fasse deux espèces différentes de sels avec un seul et même groupe négatif. Dans ce cas, pour distinguer entre elles les deux espèces, on ajoute au nom spécifique les mots : *au maximum*, ou, *au minimum*, ou bien on termine le nom spécifique en *ique* et en *eux*. Les sels au maximum sont ceux dans lesquels le groupe négatif entre pour la plus forte proportion, et les sels au minimum ceux dans lesquels il entre pour la plus faible proportion.

Par exemple, on connaît deux sulfates de fer :

Le sulfate au maximum ou ferrique . . . . .	$\text{Fe}^{\circ}(\text{SO}^{\circ})^{\circ}$ ,
Et le sulfate au minimum ou ferreux. . . . .	$\text{FeSO}^{\circ}$ .

2° LES SELS NE SONT PAS OXYGÉNÉS. Si les sels contiennent, dans le groupe négatif, du soufre, du sélénium et du tellure, leur nom se fait comme s'ils étaient oxygénés ; seulement, on fait précéder le nom générique des préfixes *sulfo*, *sélénio* ou *tellurio*, pour indiquer quel est le corps qui remplace l'oxygène. Le genre salin  $\text{CO}^{\circ}\text{R}^{\circ}$  se nommant carbonate, le genre  $\text{CS}^{\circ}\text{R}^{\circ}$  se nommera sulfocarbonate.

Si les sels ne contiennent ni oxygène, ni soufre, ni sélénium, ni tellure, deux cas peuvent se présenter : dans le premier, il y a

deux éléments positifs pour un seul négatif ; dans le second, c'est l'inverse.

Lorsque l'élément négatif est unique, on termine son nom en *ure* et on le fait suivre du mot *double*, à la suite duquel on place les noms des deux corps positifs. Ainsi, le corps  $\left. \begin{matrix} \text{Ag} \cdot \text{Na} \\ \text{Cl}^2 \end{matrix} \right\}$  se nomme *chlorure double d'argent et de sodium*.

Si, au contraire, le corps contient un seul élément positif pour deux négatifs, on termine le nom de l'un de ces derniers en *o*, on y joint le nom de l'autre terminé en *ure*, et l'on achève par le nom de l'élément positif ; le corps  $\left. \begin{matrix} \text{Hg}^m \\ \text{ICl} \end{matrix} \right\}$  se nomme chloro-iodure de mercure.

Lorsque les sels sont sulfurés, sélénisés ou tellurisés, on peut encore adopter des noms tirés des règles précédentes. Le sel  $\text{CS}^2\text{K}^2$ , par exemple, pourra être appelé sulfure double de potassium et de carbone, tout aussi bien que sulfocarbonate de potassium. La dernière de ces dénominations est cependant préférable et finira par être seule usitée.

3° ACIDES, BASES. Les sels qui ne contiennent que de l'hydrogène pour élément électro-positif sont appelés *acides*. On les dénomme en faisant suivre ce dernier mot du nom générique des sels qui leur correspondent, après avoir changé la terminaison *ate* en *ique* et la terminaison *ite* en *eux*.

L'acide qui correspond aux chlorates est l'acide chlorique ;

L'acide qui correspond aux chlorites est chloreux ;

L'acide qui correspond aux sulfocarbonates est l'acide sulfocarbonique, etc.

Lorsque le groupe HO constitue l'élément électro-négatif d'un sel, ce sel est une base ; on lui donne alors le nom générique *hydrate*, et on fait le nom spécifique comme dans les autres cas. Le composé KHO doit être nommé, d'après cela, hydrate de potassium (ou, comme on dit encore par ancienne habitude, hydrate de potasse).

**Composés quaternaires.** Les composés quaternaires sont des sels qui contiennent tantôt un seul groupe négatif pour deux radicaux positifs, tantôt un seul radical positif pour deux radicaux négatifs, tantôt enfin un seul radical négatif ternaire et un seul radical positif.

1° Il y a un seul radical négatif et deux radicaux positifs. Si,

parmi les radicaux positifs, ne se trouve pas l'hydrogène, le nom du sel se forme comme à l'ordinaire; seulement on fait suivre le nom générique de l'épithète *double*, suivie elle-même des deux noms spécifiques. Le corps  $\text{SO}^{4\prime\prime}, \text{K.Na}$ , par exemple, se nomme sulfate double de potassium et de sodium (ou, comme on a dit à tort, de potasse et de soude).

L'hydrogène existe-t-il encore au nombre des éléments positifs, on a un sel acide; on fait alors suivre le nom générique du mot *acide* ou on le fait précéder de la préfixe *bi*.

Ainsi, l'on connaît deux sulfates de potassium, l'un neutre  $\text{SO}^{4\prime\prime}, \text{K}^2$ ; l'autre acide  $\text{SO}^4, \text{KH}$ . Ce dernier se nomme sulfate acide ou bisulfate de potassium. Quand le sel acide contient plusieurs atomes d'hydrogène, on en indique le nombre par les préfixes *mono*, *bi*, *tri*, *tétra*, qu'on met avant le mot acide.

2° Il y a un seul radical positif et deux radicaux négatifs. Si, parmi les radicaux négatifs, ne figure pas l'oxydryle HO, on termine le nom de l'un d'eux par la lettre *o*, et l'on y joint le nom du second terminé en *ate* ou en *ite*, puis on achève comme à l'ordinaire.

Le composé  $\text{AzO}^3, \text{ClO}^3, \text{Pb}^{\prime\prime}$  se nommerait azoto-chlorate ou chloro-azotate de plomb.

Quand le groupe HO figure au nombre des radicaux négatifs, on dénomme le sel comme s'il ne contenait que l'autre radical négatif, et l'on fait suivre le nom générique du mot *basique*, ou on le fait précéder de la préfixe *sous*.

Ainsi, l'on connaît deux azotates de bismuth, l'un neutre  $(\text{AzO}^3)^3\text{Bi}^{\prime\prime\prime}$ , et l'autre basique  $(\text{AzO}^3)(\text{HO})^2\text{Bi}^{\prime\prime\prime}$ . Ce dernier se nomme azotate basique ou sous-azotate de bismuth.

Le sel contient-il plusieurs molécules du groupe HO, on fait précéder le mot *basique* des préfixes *mono*, *bi*, *tri*, *tétra*, qui en font connaître le nombre.

5° Il y a un seul radical positif et un seul radical négatif ternaire. Le nom générique se fait comme d'habitude; toutefois, on le fait précéder par certaines préfixes. Ces préfixes indiquent la nature des corps faisant partie du groupe négatif, et autres que l'élément auquel est donnée la terminaison *ate*. Ainsi, l'on appellerait *bioxy-sulfocarbonate de potassium* le sel qui aurait pour formule  $\text{CO}^2\text{Sk}^2$ .

**Corps qui contiennent plus de quatre éléments.** La nomenclature de ces composés suit les mêmes règles que celles des

composés quaternaires. Il est inutile d'y revenir. Nous citerons seulement quelques exemples :

Le phosphate  $\text{PO}^{4''}$ , Na, K, Li prendrait le nom de phosphate de potassium, de sodium et de lithium (ou, comme on dit à tort, de potasse, de soude et de lithine). Le composé  $\text{PO}^{4''}$ ,  $\text{SO}^{4''}$ ,  $\text{AzO}^3\text{Fe}^2$  serait du phospho-sulfo-azotate de fer.

Le sel  $(\text{CSO}, \text{Se})^n \text{K}^2$  serait du *sulfoxyséléniocarbonate de potassium*, etc.

## SOLUBILITÉ.

Certains corps solides jouissent de la propriété de passer à l'état liquide lorsqu'on les mêle avec d'autres corps qui affectent déjà cet état, et de rester intimement mélangés avec ces dernières substances. On dit alors que ces corps sont solubles dans ces liquides, et la propriété qu'ils possèdent est dite solubilité.

Les exemples de solubilité abondent : le sucre est soluble dans l'eau, la graisse est soluble dans l'essence de térébenthine.

Lorsqu'un corps se dissout dans un liquide, on observe tantôt un accroissement, tantôt un abaissement de température. Il pourrait arriver aussi que la température ne variât pas.

Ces phénomènes s'expliquent ainsi :

Tout corps qui passe de l'état solide à l'état liquide consomme une certaine quantité de chaleur, et abaisse, par conséquent, la température extérieure. Dès lors, il est évident que, dans toute dissolution, la température du dissolvant doit baisser ; de plus, comme tous les corps n'exigent pas la même quantité de chaleur pour changer d'état, il est également évident que le froid produit par la dissolution doit présenter une intensité variable suivant la nature des corps dissous.

Il en serait ainsi si un autre phénomène ne venait rendre les résultats plus complexes. De fait, il suffit que le corps qui se dissout puisse exercer une action chimique sur le dissolvant pour qu'une élévation de température se produise et vienne compenser les degrés divers le refroidissement résultant de la liquéfaction. On voit donc que le résultat observé est seulement une différence. On a du froid dans le cas où la chaleur développée par la combinaison est plus faible que le froid produit par la dissolution ; ou

a de la chaleur quand c'est l'inverse qui a lieu. Enfin la température ne varierait pas si les deux effets se compensaient exactement.

Les lois qui régissent la solubilité des corps sont loin d'être exactement connues : à côté des règles générales il y a des exceptions.

**PREMIÈRE LOI.** A une même température, la quantité d'un corps solide qu'un liquide peut dissoudre est limitée. Lorsqu'un liquide a dissous tout ce qu'il peut dissoudre d'un corps à une température donnée, on le dit saturé. Les dissolutions, comme les combinaisons ordinaires, se font donc en proportion définie.

**DEUXIÈME LOI.** Lorsqu'un liquide est saturé d'un corps, il peut encore dissoudre un autre corps ; souvent même la solubilité de cet autre corps est augmentée par la présence du premier dissous. Ce dernier phénomène doit être attribué à la production de nouveaux composés formés par la double décomposition des deux corps primitifs.

**TROISIÈME LOI.** La solubilité des corps augmente généralement avec l'élévation de la température : 100 parties d'eau dissolvent 10 parties d'azotate de baryum à 10°, et 36 parties du même sel à 100°. Néanmoins cette loi n'est pas constante. Outre que l'accroissement de la solubilité pour un même accroissement de température est loin d'être le même pour tous les corps, il en est qui sont plus solubles à froid qu'à chaud, le sulfate de thorium est du nombre, et il en est d'autres qui présentent des irrégularités plus grandes encore. Le sulfate de sodium est soluble dans l'eau, et sa solubilité s'accroît jusqu'à + 33° à mesure que la température s'élève. Mais au-dessus de 33°, si la température s'élève encore, la solubilité du sel va en décroissant.

Pour expliquer ce fait curieux on suppose le sel qui se dissout entre 0° et 33°, combiné avec une certaine quantité d'eau, tandis qu'à 33° cette combinaison se détruirait en laissant le sel anhydre. Il suffit alors de supposer que le sel hydraté obéit à la loi générale, et qu'au contraire la solubilité du sel anhydre décroît à mesure que la température s'élève pour que l'anomalie disparaisse. Malheureusement cette explication est toute hypothétique.

**QUATRIÈME LOI.** Les corps, en se dissolvant dans les liquides, élèvent toujours le point d'ébullition de ces derniers. La quantité dont ils l'élèvent varie avec les corps. Elle est probablement pro-



portionnelle à l'énergie de la combinaison que le liquide contracte avec la molécule solide.

Voici une table qui indique le nombre de degrés dont est retardée l'ébullition de l'eau par un poids de divers corps capables de la saturer à la température à laquelle elle bout sous leur influence :

NOMS DES CORPS.	PROPORTION DES CORPS POUR 100 D'EAU.	POINTS D'ÉBULLITION.
Chlorure de baryum. . . . .	60,1	104°,3
Chlorure de sodium. . . . .	41,2	108°,3
Chlorure d'ammonium . . . . .	88,9	114°,2
Chlorure de strontium. . . . .	117,5	117°,8
Azotate de sodium . . . . .	224,8	121°,0
Azotate de calcium. . . . .	362,0	151°,0
Chlorure de calcium. . . . .	325,0	179°,5

La solubilité de chaque corps variant avec la température, on a construit des lignes dites courbes de solubilité et destinées à la faire connaître à quelque degré du thermomètre que ce soit. Voici le principe de ces courbes.

On mène deux lignes (voir ci-contre la *fig. 10*) perpendiculaires l'une sur l'autre. La ligne horizontale, *ligne des abscisses*, est divisée en un certain nombre de parties égales, dont chacune représente un degré du thermomètre centigrade. La ligne verticale, *ligne des ordonnées*, est divisée en parties égales entre elles, mais qui ne sont pas nécessairement égales à celles de la ligne horizontale.

S'agit-il de déterminer la courbe de solubilité d'un corps, on cherche par l'expérience quelles sont les quantités de ce corps dissoutes dans 100 parties de dissolvant, et cela à diverses températures.

Cela fait, des divisions qui indiquent ces températures on élève des perpendiculaires sur la ligne horizontale, puis sur la ligne verticale on prend des longueurs proportionnelles aux quantités du corps dissoutes aux diverses températures pour lesquelles la détermination de la solubilité a été faite. De chacun des points ainsi tracés sur la ligne des ordonnées on élève des perpendiculaires ; ces lignes rencontrent celles élevées perpendiculairement à la ligne des abscisses. On joint enfin tous les points d'intersection par une courbe continue qui est la courbe de solubilité cherchée.

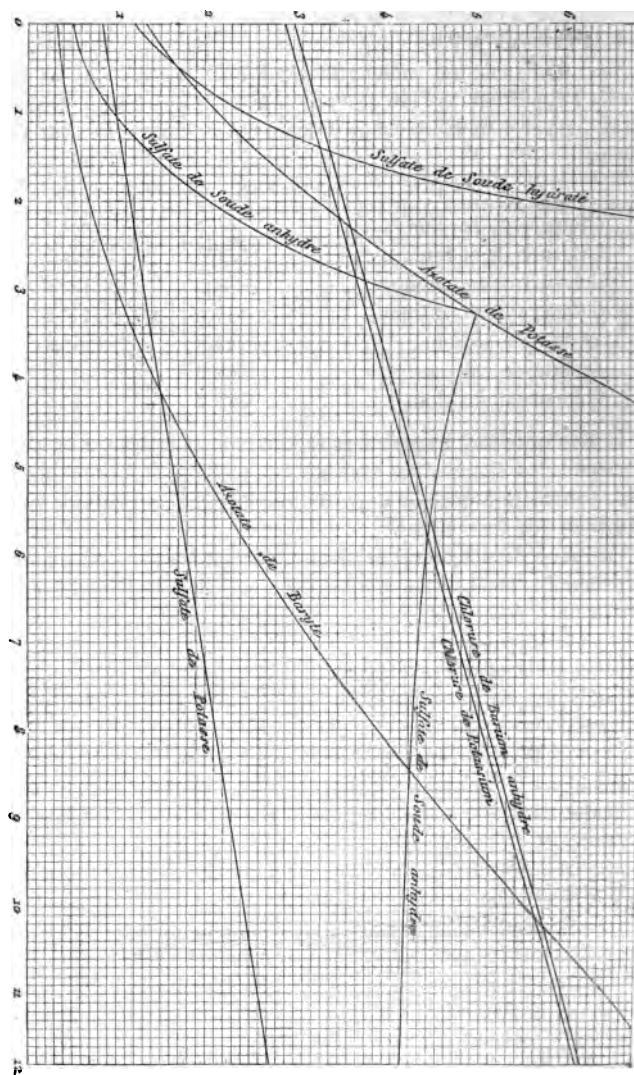


Fig. 10.

Il suffit, pour que la courbe représente la solubilité à tous les degrés du thermomètre avec une exactitude suffisante, que l'on ait fait de 10 à 20 déterminations.

Lorsqu'on veut ensuite, à l'aide de cette courbe, connaître la solubilité d'un corps à une température quelconque, on élève une perpendiculaire sur le point de la ligne des abscisses où se trouve inscrite cette température. Cette perpendiculaire coupe la courbe de solubilité en un certain point ; de ce point on abaisse une perpendiculaire sur la ligne des ordonnées. La longueur de cette dernière ligne interceptée entre la perpendiculaire abaissée sur elle et la ligne des abscisses, représente la quantité du corps susceptible de se dissoudre à cette température.

La question importante est donc de pouvoir déterminer avec exactitude la solubilité d'un corps dans un dissolvant ; deux méthodes peuvent être employées pour atteindre ce but.

**PREMIÈRE MÉTHODE.** Elle consiste à évaporer avec soin un poids connu  $P$  d'une solution saturée à une certaine température, et à peser le résidu parfaitement sec, soit son poids  $P'$  ;  $P - P'$  représente le poids de l'eau évaporée. Une simple proportion donne ensuite la quantité du corps soluble que dissoudraient 100 parties d'eau à la même température. On a, en effet :

$$P - P' : P' :: 100 : x \quad \text{d'où} \quad x = \frac{100 \times P'}{P - P'}$$

Pour opérer cette dessiccation, on place un poids connu de la



Fig. 11.

dissolution dans un petit ballon taré (fig. 11) que l'on chauffe

avec quelques charbons. A la fin de l'opération, pour enlever les dernières traces d'humidité, on injecte avec précaution de l'air dans le ballon à l'aide d'un petit tube de verre adapté à la buse d'un soufflet au moyen d'un tube de caoutchouc. Il faut avoir soin de tenir toujours le ballon incliné pour éviter les projections.

**DEUXIÈME MÉTHODE.** Au lieu d'évaporer la solution après l'avoir pesée, on y ajoute un réactif capable de précipiter le corps qui y est ou au moins un de ses éléments. On recueille le précipité, on le lave, on le dessèche, on le pèse; et de son poids on déduit celui du corps qui était en dissolution.

Voici un exemple : soit à déterminer la solubilité du bromure de sodium, on ajoute de l'azotate d'argent à la solution de ce sel, et, après l'avoir recueilli sur un filtre, lavé et séché, on pèse le bromure d'argent qui s'est précipité; soit P son poids. Comme on sait que 188 parties de bromure d'argent contiennent 80 parties de brome, on connaîtra le poids de brome contenu dans P de bromure d'argent à l'aide de la proportion :

$$188 : 80 :: P : x \quad \text{d'où} \quad x = \frac{80 \times P}{188} = B$$

en appelant B la valeur de  $x$  supposée connue.

On sait que, pour se saturer, 80 de brome exigent 23 de sodium et donnent 103 de bromure de sodium, on aura la quantité de bromure de sodium contenu dans la dissolution, au moyen de la proportion :

$$80 : 103 :: B : x, \quad \text{d'où} \quad x = \frac{103 \times B}{80}$$

Le poids du bromure de sodium étant connu, on achèvera le calcul comme précédemment.

Ce procédé est seul applicable toutes les fois que les corps dont il s'agit de déterminer la solubilité sont décomposables par la chaleur.

Quel que soit le procédé employé, la partie principale de l'opération est d'obtenir une dissolution saturée. On peut y arriver de deux manières différentes.

Le moyen le plus simple et en même temps le plus sûr consiste à placer dans le liquide un excès du corps à dissoudre, et à abandonner le tout pendant un temps suffisant dans un milieu dont la température soit constante.

Le second moyen n'est applicable qu'aux corps qui, selon la règle générale, se dissolvent plus à chaud qu'à froid. Il consiste à saturer le liquide à une température plus élevée que celle où l'on veut faire la détermination, et à le laisser ensuite se refroidir. L'excès du corps dissous se dépose, et lorsque le thermomètre marque le degré voulu, il ne reste plus qu'à décanter.

Ce procédé est sujet à l'erreur. Il arrive souvent que, lorsque la température s'abaisse, l'excès du corps soluble qui devrait se déposer ne se dépose pas ; le liquide contient alors en dissolution une quantité de ce corps supérieure à celle qu'il en aurait prise si l'on eût fait la solution directement à cette température. Toutefois, il suffit généralement, dans ce cas, d'agiter la liqueur pour que l'excès du corps dissous cristallise ; les liqueurs qui sont dans ces conditions portent le nom de dissolutions sursaturées.

Pour les obtenir, il faut les abriter du contact de l'air pendant le refroidissement. On y parvient soit en les enfermant dans un tube scellé à la lampe, soit en les recouvrant d'une couche d'huile,

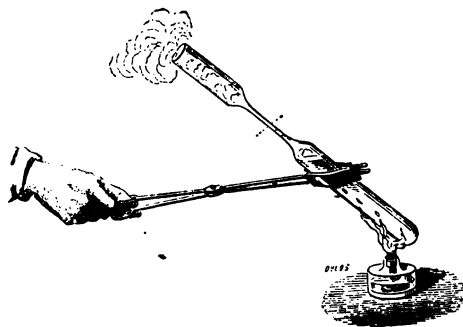


Fig. 12.

ou simplement en les plaçant sous une cloche. Il suffit, dans le premier cas, de briser la pointe du tube qui les contient ; et, dans le second, d'agiter le liquide avec une baguette de verre pour amener la cristallisation.

L'expérience réussit très-bien avec le sulfate de sodium. On verse dans un tube de verre à entonnoir (*fig. 12*) une solution de ce sel saturée à chaud, en ayant soin de remplir les  $\frac{2}{3}$  environ de la capacité du tube ; puis on fait bouillir le liquide afin de chasser

l'air au moyen de la vapeur d'eau, et pendant l'ébullition on ferme à la lampe dans la partie étranglée. On peut alors laisser refroidir l'appareil sans que le sulfate de sodium cristallise ; mais si l'on vient à briser la pointe du tube, la cristallisation se fait aussitôt, et le liquide se prend en masse ; en même temps on observe un dégagement de chaleur, phénomène inverse de celui qui accompagne la dissolution.

Lorsqu'on a obtenu une dissolution sursaturée en la mettant à l'abri de l'air, soit au moyen d'une couche d'huile, soit au moyen d'une cloche, on observe certains phénomènes curieux :

Ainsi, trempe-t-on une baguette de verre dans une telle solution, elle cristallise à l'instant. La baguette perd toutefois sa propriété si elle est chaude, ou si après avoir été chauffée elle s'est refroidie à l'abri de l'air.

Fait-on passer un courant d'air ordinaire à travers une dissolution sursaturée, la cristallisation a lieu aussitôt. L'air, au contraire, cesse de déterminer la cristallisation, si avant d'arriver dans la solution il passe par un tube chaud, ou s'il traverse une série de tubes en U vides, ou s'il se tamise à travers du coton.

Ces faits, au premier abord extraordinaires, s'expliquent cependant fort aisément :

La cristallisation des dissolutions sursaturées est due aux poussières qui se déposent sur les objets, ou que l'air tient en suspension. De plus, on a démontré que pour que ces poussières jouissent de cette propriété, elles doivent contenir des traces de la matière cristallisée qui constitue la dissolution sursaturée ou d'un corps isomorphe.

Or, lorsqu'on tamise l'air, ou qu'on le fait passer à travers une série de tubes en U, on le prive de ses poussières. Et lorsqu'on le chauffe on fait perdre à celles de ces poussières qui pourraient amener la cristallisation, leur forme cristalline, et avec cette dernière leur faculté de servir de noyau à un cristal.

**Solubilité des gaz.** Les lois que nous venons d'étudier comme s'appliquant à la solubilité des corps solides, ne s'appliquent plus à la solubilité des gaz.

Lorsqu'un liquide dissout un solide, l'affinité des deux corps détermine seule le changement d'état du solide, et comme ce changement d'état exige du calorique, la chaleur favorise la dissolution.

Lorsque c'est un gaz qui se dissout, l'affinité du liquide pour le gaz détermine encore un changement d'état, mais en ordre inverse. Ce nouveau changement d'état, au lieu d'être accompagné d'une absorption de calorique, est accompagné d'un dégagement de chaleur. Il est évident, d'après cela, que si l'on chauffe, on tendra à produire un effet inverse de celui qui résulte de l'affinité des deux corps, c'est-à-dire à détruire la dissolution.

Ce que le raisonnement nous conduit à admettre, l'expérience nous le démontre. Les quantités de gaz dissoutes dans un liquide décroissent avec l'élévation de la température, et lorsque celle-ci est suffisamment élevée, la totalité du gaz redevient libre.

D'un autre côté, lorsqu'on comprime les gaz on en rapproche les molécules, et l'accroissement de la force attractive qui agit entre ces petites masses en est la conséquence. En comprimant les gaz, on produit donc le même effet que si on les refroidissait. Cela est si vrai, qu'on parvient à liquéfier les gaz par le seul effet de la pression.

Nous en concluons que la pression doit, comme l'abaissement de la température, favoriser la dissolution des gaz, et ici encore le raisonnement est confirmé par l'expérience.

Les gaz, en effet, se dissolvent proportionnellement à la pression. Quand celle-ci devient deux, trois, quatre fois plus grande, le poids du gaz dissous devient aussi deux, trois, quatre fois plus grand.

On peut encore exprimer ce principe en disant qu'un liquide à une température donnée dissout toujours le même volume d'un gaz, quelle qu'en soit la pression. Comme à volume égal les poids des gaz sont proportionnels aux pressions qu'ils supportent, il est évident que les deux énoncés se confondent.

On a dans l'eau de Seltz un exemple vulgaire de l'action de la pression sur la solubilité des gaz. Cette eau a été saturée d'anhydride carbonique à 5 atmosphères; aussi, lorsqu'on la met en communication avec l'atmosphère ordinaire, la pression diminuant les  $\frac{4}{5}$ , les  $\frac{4}{5}$  du gaz dissous se dégagent et produisent une mousse considérable.

Voyons maintenant ce qui se passe lorsqu'un liquide agit, non plus sur un gaz unique, mais sur un mélange de plusieurs gaz.

Soit un mélange de deux gaz A et B, dans lequel A entre pour  $\frac{1}{5}$  et B pour  $\frac{4}{5}$ ; si, le volume restant le même, le gaz B disparaissait,

le gaz A occuperait seul tout l'espace et aurait, par suite, une pression 5 fois moindre que celle du mélange primitif. Il serait alors susceptible de se dissoudre proportionnellement à cette pression. Appelons P la quantité qui s'en dissoudrait.

Si le gaz A disparaissait, B occuperait seul tout l'espace et aurait une pression qui serait les  $\frac{4}{5}$  de celle du mélange. Il pourrait se dissoudre proportionnellement à cette pression. Soit P' la quantité qui s'en dissoudrait.

On constate que lorsque les deux gaz sont mélangés, les quantités respectives de A et de B qui se dissolvent sont égales à P et à P'.

C'est ce qu'on exprime en disant : *Lorsqu'un liquide agit sur un mélange de plusieurs gaz, il dissout de chacun d'eux ce qu'il en dissoudrait si ce gaz était seul avec la part de pression qui lui revient dans le mélange.*

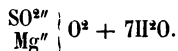
#### EAU D'INTERPOSITION, EAU DE CRISTALLISATION,

#### EAU DE CONSTITUTION.

Lorsqu'un corps cristallise, il arrive quelquefois que les cristaux, en se superposant, emprisonnent une certaine quantité de l'eau mère (dissolution dans laquelle le cristal se forme). Dans ce cas, l'eau emprisonnée ne présente aucun rapport de composition constant avec le cristal; elle s'y trouve à l'état de simple mélange. On l'appelle *eau d'interposition*.

Par contre, beaucoup de cristaux contiennent de l'eau en proportion définie et à l'état de véritable combinaison. Cette eau combinée porte le nom d'*eau de cristallisation*.

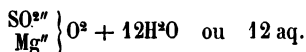
Un même corps peut cristalliser avec des proportions d'eau différentes, selon les conditions dans lesquelles les cristaux ont pris naissance; ainsi, le sulfate de magnésium cristallisé à la température ordinaire retient 7 molécules d'eau et répond à la formule :



Au lieu de la formule de l'eau H<sup>2</sup>O on écrit souvent pour désigner l'eau de cristallisation *aq* (abréviation de *aqua*). Le même sel au



**EAUX D'INTERPOSITION, DE CRISTALLISATION, DE CONSTITUTION. 95**  
 dessous de 0° se dépose de sa dissolution avec 12 molécules d'eau  
 et répond à la formule :



L'eau de cristallisation ne paraît pas jouer un rôle important dans la constitution du corps auquel elle est unie. Lorsqu'on la chauffe à l'aide d'une chaleur suffisante et qu'on redissout ensuite le corps, on peut le faire cristalliser de nouveau ; il reprend alors toute l'eau qu'il avait perdue. On observe dans ce cas que pas une de ses propriétés physiques ou chimiques n'a été modifiée.

Cette eau, au contraire, joue un rôle important dans la forme du cristal ; si on l'élimine par la chaleur, le cristal se détruit.

Les corps qui contiennent de l'eau de cristallisation et dont la solubilité s'accroît avec la température, donnent quelquefois lieu à un singulier phénomène. Lorsqu'on les chauffe, ils se dissolvent dans leur eau de cristallisation et paraissent fondre ; si l'on continue à les chauffer, l'eau s'évapore et le corps reprend l'état solide. Ce n'est qu'à une température beaucoup plus élevée qu'il fond réellement. Cette fusion apparente a reçu le nom de fusion aqueuse par opposition avec la fusion vraie qu'on appelle fusion ignée.

Il est des cristaux qui peuvent perdre leur eau de cristallisation en totalité ou en partie par simple exposition à l'air, et qui en même temps tombent en poussière ; on les dit efflorescents. Le sulfate de sodium jouit à un haut degré de cette propriété.

D'autres corps, au contraire, ont une telle affinité pour l'eau qu'ils s'emparent de celle que l'atmosphère contient à l'état de vapeur ; on les appelle déliquescents. Le carbonate de potassium est de ce nombre ; lorsqu'on l'abandonne pendant quelques jours au contact de l'air, au lieu du corps solide qu'on a laissé on retrouve une solution sirupeuse.

On s'est demandé si l'eau existe dans les cristaux à l'état liquide ou à l'état solide. La chaleur spécifique de la glace différant de celle de l'eau, on a pu résoudre le problème.

On sait que la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° la température d'un composé est égale à la somme des quantités qu'absorbe chaque composant en particulier. Si donc on appelle M, M', M'' les masses de trois corps, et C, C', C'' leur chaleur spécifique, la quantité de chaleur capable d'élever de 1° M + M' + M'',

sera  $MC + M'C' + M''C''$ . La quantité de chaleur qui élèvera de 1° l'unité de poids du composé, c'est-à-dire la chaleur spécifique de ce dernier, sera  $\frac{MC + M'C' + M''C''}{M + M' + M''}$ .

Or, les cristaux hydratés ont une capacité calorifique qui est donnée par la formule  $\frac{MC + M'C'}{M + M'}$  en représentant par  $M$  et  $M'$ ,  $C$  et  $C'$  les masses et les capacités calorifiques respectives du corps anhydre et de l'eau ; à la condition toutefois de faire  $C'$  égal à la chaleur spécifique de la glace. C'est donc à l'état de glace que l'eau existe dans les cristaux.

Pour déterminer la proportion d'eau de cristallisation qu'un cristal renferme, on pèse une certaine quantité de ce dernier réduit en poudre ; soit  $P$  son poids. On le place ensuite dans une étuve chauffée à 100° par l'eau bouillante, ou dans une étuve à huile chauffée à 120°, 140°, 200°, etc., etc., selon la facilité avec laquelle il se déshydrate. On prolonge l'action de la chaleur jusqu'à ce que deux pesées successives n'indiquent plus aucune perte de poids ; soit  $P'$  le poids de la matière desséchée,  $P - P'$  représente l'eau de cristallisation. On peut, connaissant ces nombres, déterminer à l'aide d'une proportion le poids de l'eau qui est combinée avec une molécule du corps anhydre.  $Q$  étant le poids moléculaire du corps, il vient, en effet,  $P : P - P' :: Q : x$ , d'où  $x = \frac{Q(P - P')}{P}$ . Il suffit de diviser  $x$  par le poids moléculaire de l'eau, c'est-à-dire par 18, pour savoir quel est le nombre de molécules d'eau combinées avec une molécule du corps et pour connaître la formule du cristal.

Quelquefois les corps, et surtout les substances organiques, perdent de l'eau sous l'influence de la chaleur et sont par ce fait même altérés dans leurs propriétés à tel point que, redissous dans l'eau, ils ne reprennent plus leurs caractères primitifs.

L'acide citrique, par exemple, cristallisé à froid, a pour formule  $C^6H^8O^7 + aq$ . A 100° il perd son eau de cristallisation ; mais si on le chauffe plus fortement, il perd encore une molécule d'eau. Sa formule devient alors  $C^6H^8O^6$ .

Le composé déshydraté constitue un acide nouveau, l'acide acotannique, entièrement différent de l'acide citrique et incapable de régénérer ce dernier sous l'influence de l'eau.

L'eau dont l'élimination détermine un changement dans la nature

des corps se nomme *eau de constitution*. Existe-t-elle toute formée dans les molécules des composés qui la perdent? On l'ignore; il est probable toutefois qu'elle se forme de toutes pièces, au moment même où l'on chauffe, par suite de l'union d'une partie de l'hydrogène avec une partie de l'oxygène que renferment les corps sur lesquels on opère. On conçoit que l'action de la chaleur puisse produire une semblable modification dans une molécule complexe, et il n'est nullement nécessaire d'admettre, pour expliquer le phénomène, que l'eau soit toute formée dans les molécules dont il s'agit.

## POLYMORPHISME, ALLOTROPIE, ISOMÉRIE.

Rien n'est plus malaisé que de définir ces trois mots et de déterminer exactement leurs acceptions respectives.

Il existe une vaste série de phénomènes dont le polymorphisme constitue les premiers termes, l'allotropie les termes intermédiaires, et l'isomérisie les termes extrêmes. Or, lorsqu'on divise une série en plusieurs parties, on assigne à chacune d'elles certains caractères distinctifs pris de ses moyens termes; quant aux termes extrêmes, ils participent toujours des propriétés des deux groupes qu'ils séparent. Il en résulte que les groupes dont nous parlons ne peuvent être distingués par des caractères d'une valeur absolue. Il faut donc, pour définir le polymorphisme, l'allotropie, et l'isomérisie, donner de ces trois expressions une idée claire, sans s'inquiéter si on laisse en dehors certains faits dont le classement est difficile, défaut inhérent au système même de la classification.

Les solides que l'on fait cristalliser dans des conditions différentes cristallisent quelquefois dans deux systèmes différents. On les dit alors polymorphes. Le soufre, qui par voie de dissolution cristallise en octaèdres du quatrième système, cristallise par voie de fusion en prismes à base rhombe du cinquième système. C'est un corps polymorphe.

Le mot polymorphe, créé pour les différences qu'offrent les corps dans leur cristallisation, a reçu ensuite une extension plus grande. M. Dumas l'a appliqué à des changements de coloration et de consistance qui se produisent par l'action de la chaleur.

On peut dès lors définir le polymorphisme : *La faculté que possèdent des corps chimiquement identiques de jouir de propriétés*

*physiques différentes selon les conditions dans lesquelles ils sont placés.*

De même qu'un corps placé dans des conditions dissemblables peut éprouver des modifications dans ses propriétés physiques, il peut en éprouver dans ses propriétés chimiques ; dans ce cas, on a des faits d'allotropie ou d'isomérisation.

Ces deux derniers mots sont cependant fort loin d'être synonymes.

Après avoir étudié avec soin les diverses acceptions dans lesquelles ces deux mots ont été pris, je suis resté convaincu que les chimistes ont instinctivement désigné sous le nom d'allotropie des faits dans lesquels, tout en voyant des corps jouir de propriétés chimiques différentes, on peut constater que c'est toujours le même corps qui est ainsi modifié.

Au contraire, on a appelé isomères des corps entièrement distincts, mais ayant même composition qualitative et quantitative.

Ainsi, le phosphore est-il chauffé, il change de propriétés, comme nous avons déjà eu occasion de le dire; ce changement porte même sur ses propriétés chimiques. Vient-on à chauffer plus fort, le phosphore recouvre ses propriétés premières. Le phosphore peut donc exister sous deux états différents, mais c'est toujours du phosphore. Le phénomène est un phénomène d'allotropie.

Comparons maintenant le formiate d'éthyle  $C^2H^6O^2$  avec l'acétate de méthyle  $C^3H^6O^2$ . Ces deux corps ont même composition ; mais jamais ils ne peuvent se transformer l'un dans l'autre ; il y a plus, vient-on réduire leurs molécules au moyen des mêmes réactifs, les produits que l'on obtient sont tout à fait différents. Le formiate d'éthyle et l'acétate de méthyle sont deux corps parfaitement distincts, deux corps isomères.

Les chimistes ont bien senti, sans l'avoir jamais déterminé, que c'est là la différence qui existe entre l'allotropie et l'isomérisation. Lorsqu'ils veulent désigner des faits d'allotropie, ils donnent au corps sur lequel on les observe un nom invariable et disent qu'il affecte plusieurs états, tandis qu'ils donnent de noms parfaitement distincts aux corps isomères.

On ne donne pas deux noms au soufre, au phosphore, à l'hydrate ferrique; on dit que chacun de ces corps existe sous des états allotropiques distincts, mais on désigne par des noms différents le

formiate d'éthyle et l'acétate de méthyle ; l'aldéhyde et l'oxyde d'éthylène, qui ont l'un et l'autre pour formule  $C^2H^4O$ ; etc.

Un exemple tiré de l'histoire naturelle fera bien comprendre ma pensée : l'allotropie ne fait que des races, l'isométrie crée des espèces distinctes.

En résumé, on doit donc entendre par allotropie :

*Cette propriété en vertu de laquelle un même corps peut avoir des caractères chimiques différents.*

Et par isométrie :

*Ce fait, que des corps différents peuvent présenter une composition qualitative et quantitative identique.*

Au début, le mot allotropie n'avait été appliqué qu'aux éléments, plus tard, on l'a appliqué aussi à quelques composés ; nous l'appliquerons à tous les corps, en nous tenant dans les limites des définitions précédentes. Il en résulte que certains composés réputés isomères ne seront pour nous que des modifications allotropiques d'un seul et même corps ; pour ne citer qu'un exemple : l'acide tartrique, qui dévie à droite le plan de polarisation de la lumière, l'acide tartrique qui dévie à gauche le même plan de polarisation, et celui qui ne le dévie pas du tout, ne sont pas, à nos yeux, trois composés isomères, mais bien un même composé qui affecte plusieurs états allotropiques.

Les corps isomères peuvent présenter entre eux des rapports de composition différents ; de là plusieurs classes d'isomères.

Ces classes, selon M. Berthelot, sont au nombre de cinq ; nous en conserverons seulement quatre, parce que dans la cinquième et sous le nom d'isométrie physique, M. Berthelot place ce que l'on appelle généralement allotropie.

**PREMIÈRE CLASSE.** Elle renferme des corps qui n'ont d'autres rapports que leur identité de composition, sans qu'on puisse observer les moindres analogies dans leurs métamorphoses. Leurs molécules correspondent d'ailleurs à des formules, tantôt identiques, tantôt multiples les unes des autres.

*Ce sont les isométries par composition équivalente.* Comme exemples nous citerons : l'alcool allylique et l'oxyde de propylène, dont la formule commune est  $C^3H^6O$ ; la lactide et l'acide acrylique, qui ont tous deux pour formule  $C^3H^4O^2$ ; l'acide lactique, qui répond à la formule  $C^3H^6O^3$ , et la glucose, qui répond à la formule  $C^6H^{12}O^6$ , double de la précédente.

**DEUXIÈME CLASSE.** On y rencontre des composés formés par l'union de composants différents, mais présentant de tels rapports que dans le fait de la combinaison il s'établit une espèce de compensation; l'un des générateurs du corps isomère possédant en plus ce que l'autre possède en moins, relativement aux générateurs de l'autre corps isomère.

*Ce sont les isoméries par métamérie.* Les faits de cet ordre sont nombreux. Le formiate d'éthyle et l'acétate de méthyle nous en fournissent un exemple. Dans le formiate d'éthyle  $\left. \begin{array}{l} \text{CHO} \\ \text{C}^2\text{H}_5 \end{array} \right\} \text{O}$  le radical acide  $\text{C}^1\text{H}$  contient un atome de carbone et deux atomes d'hydrogène de moins que le radical acide  $\text{C}^2\text{H}_3\text{O}$  de l'acétate de méthyle  $\left. \begin{array}{l} \text{C}^2\text{H}_3\text{O} \\ \text{C}^2\text{H}_5 \end{array} \right\} \text{O}$ ; mais par contre le radical méthyle  $\text{CH}_3$  qui est dans l'un de ces corps, contient  $\text{CH}^2$  de moins que le radical éthyle  $\text{C}^2\text{H}_5$  qui fonctionne dans le premier. En fin de compte, les deux composés contiennent donc le même nombre d'atomes de chaque élément composant.

**TROISIÈME CLASSE.** Elle comprend tout un groupe de substances dont les propriétés sont semblables et la composition centésimale identique, mais dont la composition moléculaire diffère, le poids moléculaire des unes étant un multiple du poids moléculaire des autres.

*Ce sont les isoméries par polymérie.* A titre d'exemple nous citerons : l'éthylène  $\text{C}^2\text{H}^4$ , le propylène  $\text{C}^3\text{H}^6$ , le butylène  $\text{C}^4\text{H}^8$ .

**QUATRIÈME CLASSE.** On y range des corps qui ont même composition centésimale et même formule; qui de plus présentent le même système général de réactions; mais qui restent distincts par un certain nombre de propriétés physiques et chimiques, qu'ils conservent en traversant leurs combinaisons ou du moins quelques-unes d'entre elles.

*Ce sont les isoméries proprement dites.* L'alcool propylique et l'alcool isopropylique, dont la formule est  $\text{C}^3\text{H}^8\text{O}$ ; l'acide butyrique et l'acide isobutyrique, qui l'un et l'autre ont pour formule  $\text{C}^4\text{H}^8\text{O}_2$ ; l'acide toluïque et l'acide alpha-toluïque, dont la formule est  $\text{C}^8\text{H}^{10}\text{O}_2$ , appartiennent à cette classe (\*).

(\*) A ces diverses classes d'isomérie M. Berthelot ajoute la *kénomérie* ou *isomérie des corps formés par l'élimination d'éléments différents ou identiques, aux dépens de composés distincts*. Ainsi, l'aldéhyde et l'oxyde d'éthylène, qui ont

## CLASSIFICATION.

Comme nous avons déjà eu occasion de le dire, on a rangé les corps simples en une série telle que chaque corps y soit électro-positif relativement aux éléments qui le précèdent, et électro-négatif relativement à ceux qui le suivent.

Cette série n'indiquant ni les analogies ni les différences de propriétés que présentent les corps, il ne peut être rationnel de l'appliquer à l'étude.

On a également divisé les corps en métalloïdes et métaux, et subdivisé ensuite chacune de ces classes. Les caractères qui servent à établir cette division sont loin d'être suffisants.

La seule classification naturelle consisterait à faire de tous les corps simples plusieurs familles, dont chacune contiendrait ceux qui ont la même atomicité. Puis, dans chaque famille, on rangerait les corps entre eux en se basant sur le principe de la sériation électrique.

Ainsi la première famille renfermerait les corps monatomiques : fluor, chlore, brome, iode, hydrogène, argent, lithium, sodium, potassium, rubidium, césium, et probablement le thallium. Les premiers de ces corps sont électro-négatifs et les derniers électro-positifs.

Nous nous en tiendrons cependant à la classification qui divise les corps en métalloïdes et métaux, en ajoutant toutefois aux métalloïdes certains éléments jusqu'ici réputés métaux, mais qui ne peuvent plus être séparés aujourd'hui du silicium. Quant aux subdivisions, nous nous appuyerons, pour les faire, sur l'atomicité des corps. Nous ferons cependant quelques exceptions à cette règle générale, et quelquefois nous classerons certains corps non pas selon leur atomicité absolue, mais selon leur quantivalence la plus ordinaire. Nous agirons ainsi toutes les fois que l'atomicité absolue ne se manifeste que dans des cas fort rares, comme cela a lieu pour l'oxygène, le soufre, le sélénium et le tellure, qui sont au fond tétratomiques, mais qui fonctionnent

tous deux pour formule  $C^2H^4O$  et qui dérivent, la première, de l'alcool  $C^2H^6O$  par élimination de  $H^2$ , et le deuxième du glycol  $C^2H^6O^2$  par élimination de  $H^2O$ , seraient des corps kénomères. Nous n'avons pas conservé cette classe d'isomérisie, qui ne s'appuie pas sur la constitution des corps et dont la création nous paraît arbitraire.

presque toujours comme bivalents, et comme on le remarque aussi dans l'iode, qui se comporte dans l'immense majorité des cas comme monovalent, bien qu'il soit triatomique.

Le tableau suivant met en relief les différences qui distinguent les métalloïdes des métaux :

MÉTALLOÏDES	MÉTAUX
1° Plusieurs métalloïdes sont gazeux,	— Il n'y a aucun métal gazeux.
2° Les métalloïdes n'ont généralement pas l'éclat dit métallique.	— Les métaux jouissent de l'éclat dit métallique.
3° Les métalloïdes conduisent généralement mal la chaleur et l'électricité.	— Les métaux sont bons conducteurs de l'électricité et du calorique.
4° Les métalloïdes ont une densité relativement faible.	— Les métaux ont une densité relativement forte.
5° Les oxydes des métalloïdes, en se combinant à l'eau, produisent ordinairement des acides, rarement des bases.	— Les oxydes des métaux, en se combinant à l'eau, produisent des bases, rarement des acides.
6° Les métalloïdes sont toujours électro-négatifs dans les composés qu'ils forment en s'unissant aux métaux.	— Les métaux sont toujours électro-positifs dans les composés qu'ils forment en s'unissant aux métalloïdes.

**Subdivision des métalloïdes.** Nous diviserons les métalloïdes en cinq familles naturelles; notre classification est celle de M. Dumas, légèrement modifiée.

**Première famille.** Elle contient les métalloïdes monatomiques. Ce sont : le chlore, le brome, l'iode, le fluor et l'hydrogène.

**Deuxième famille.** Elle renferme les métalloïdes diatomiques, qui sont : l'oxygène, le soufre, le sélénium et le tellure.

**Troisième famille.** Elle ne contient jusqu'ici qu'un seul métalloïde, le bore, qui est triatomique.

**Quatrième famille.** Nous y rangerons les métalloïdes tétratomiques, savoir : le carbone, le silicium, le zirconium, le titane, l'étain et le thorium.

**Cinquième famille.** Elle renferme les métalloïdes pentatomiques, qui sont : l'azote, le phosphore, l'arsenic, l'antimoine, le bismuth, l'uranium, le tantale, le niobium et le vanadium.



## DEUXIÈME PARTIE

### ÉTUDE DES CORPS SIMPLES ET DE LEURS PRINCIPAUX COMPOSÉS

# MÉTALLOÏDES

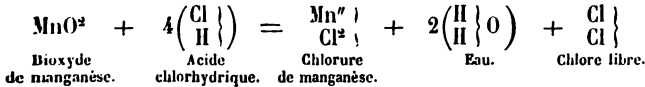
### PREMIÈRE FAMILLE (MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES).

#### CHLORE $\left. \begin{matrix} \text{Cl} \\ \text{Cl} \end{matrix} \right\}$

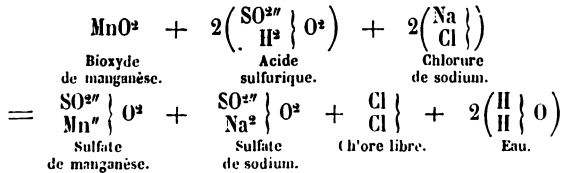
Poids atomique = 35,5      Poids moléculaire = 71.

Le chlore peut s'obtenir soit en chauffant du bioxyde de manganèse avec de l'acide chlorhydrique, soit en chauffant le même oxyde avec un mélange d'acide sulfurique et de chlorure de sodium.

#### 1<sup>er</sup> PROCÉDÉ



#### 2<sup>me</sup> PROCÉDÉ



Le chlore est gazeux dans les conditions ordinaires. Il se liquéfie sous une pression de cinq atmosphères; sa couleur est jaune verdâtre, sa densité à l'état gazeux est de 2,4482 et à l'état liquide de 1,53. Il résulte de la grande densité du chlore gazeux que, si l'on fait dégager ce gaz par un tube dont l'extrémité débouche au fond

d'un vase, l'air se trouve peu à peu déplacé et le flacon s'emplit de chlore pur.

Le chlore se dissout dans le tiers environ de son volume d'eau. Pour en obtenir une solution saturée on se sert d'un appareil dont on fait usage pour dissoudre un gaz quelconque dans un liquide. Cet appareil se nomme appareil de Woulf. Il se compose (fig. 15)



Fig. 15.

d'une série de flacons à trois tubulures C, D, E. Chaque flacon reçoit trois tubes : le premier, placé dans la tubulure du milieu, plonge jusqu'au fond du vase et se termine en entonnoir à sa partie supérieure; il est destiné à introduire de l'eau dans le flacon; de plus, si, par suite d'un abaissement de température, la pression diminuait dans un vase, le liquide du vase suivant tendrait à s'élever dans un des tubes latéraux et à passer dans le premier vase. Le tube du milieu rend cet accident impossible; quand le gaz se raréfie dans un flacon, l'air entre par ce tube et la pression se rétablit. Le tube du milieu se nomme, par cette raison, tube de sûreté. Les deux autres tubes s'engagent dans les deux tubulures latérales, l'un plonge jusqu'au fond du liquide, c'est celui qui amène le gaz à dissoudre; l'autre s'arrête à la partie inférieure du bouchon et ne plonge, par conséquent, pas dans le liquide; il a pour effet de livrer passage au gaz qui n'a pas été dissous et qui se rend dans les flacons suivants.

Dans le cas du chlore, le tube qui termine l'appareil plonge dans une éprouvette F qui contient un lait de chaux, afin d'absorber l'excès de chlore et d'en éviter ainsi les effets irritants.

Lorsqu'on refroidit à 0° la solution de chlore, on obtient des cristaux qui renferment 28 parties de chlore et 72 d'eau, ce qui correspond à peu près à la formule  $\text{Cl}^2, 10\text{H}^2\text{O}$ . Ces cristaux, enfermés dans un tube scellé à la lampe, s'y décomposent lorsqu'on les chauffe, et le gaz qui se développe, trop abondant pour se dissoudre dans l'eau devenue libre, se comprime au point de se liquéfier. Le tube contient alors deux couches : l'une de chlore liquide, l'autre d'eau saturée de ce métalloïde.

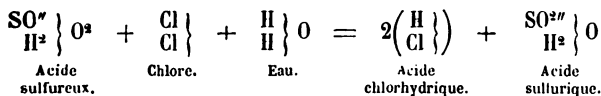
Le chlore se combine directement à l'hydrogène sous l'influence de la lumière : quand on soumet le mélange à la radiation solaire, la réaction est instantanée et une explosion en est la conséquence; à la lumière diffuse elle exige, au contraire, un temps assez long. A l'obscurité absolue la combinaison ne se fait pas ou du moins ne se fait qu'avec une extrême lenteur.

Le chlore se combine directement à la plupart des métaux et particulièrement au mercure, ce qui empêche de le recueillir sur ce liquide.

L'arsenic et l'antimoine en poudre prennent feu spontanément lorsqu'on les projette dans un vase rempli de chlore; le cuivre y brûle également lorsqu'il a été préalablement chauffé. Le phosphore s'y enflamme spontanément.

Si l'on fait passer du chlore et de la vapeur d'eau dans un tube de porcelaine chauffé au rouge, l'eau est décomposée; l'oxygène est mis en liberté et de l'acide chlorhydrique prend naissance à froid et sous l'influence de la lumière, la solution de chlore subit avec le temps une décomposition semblable.

En présence de l'eau, le chlore agit comme un oxydant énergique; il s'empare de l'hydrogène et met en liberté de l'oxygène, lequel, à état naissant, a des affinités très-prononcées. On peut facilement transformer, par ce moyen, l'acide sulfureux en acide sulfurique :



Le chlore, en réagissant sur les substances organiques, les modifie profondément, à cause de son affinité pour l'hydrogène que ces substances contiennent. Il détruit les principes colorants et les miasmes. Ces deux propriétés sont utilisées.

Dans l'industrie, on met à profit l'action décolorante pour le blanchiment des étoffes de lin et de coton.

En médecine, on utilise la propriété désinfectante pour assainir les lieux où se trouvent des miasmes.



Poids atomique = 80      Poids moléculaire = 160.

Le brome s'obtient par le même procédé que le chlore, c'est-à-dire en chauffant un mélange de bromure de sodium, de peroxyde de manganèse et d'acide sulfurique. On recueille les vapeurs dans un récipient refroidi. Le brome attaquant vivement les bouchons, il est bon d'employer des appareils dont toutes les pièces soient rodées à l'émeri.

Le brome est liquide à la température ordinaire; sa couleur est alors d'un rouge brun foncé; à  $-20^{\circ}$  il devient solide et se prend en lames grises feuilletées; vers  $58^{\circ}$  il se réduit en vapeurs jaunâtres.

La densité du brome liquide est 2,97, celle du brome en vapeurs est 5,54.

L'odeur de ce corps est très-irritante; il attaque vivement les organes de la respiration.

Le brome se combine à l'eau à  $0^{\circ}$ , en formant un hydrate cristallisable. Cet hydrate se détruit à  $15$  ou  $20^{\circ}$ .

Les affinités du brome sont de même nature que celles du chlore, toutefois le brome se combine avec plus d'énergie que le chlore à l'oxygène, et avec moins d'énergie à tous les autres corps. Il en résulte que le chlore chasse le brome de tous les composés que forme ce dernier avec des corps autres que l'oxygène, et qu'il est chassé par le brome de ses composés oxygénés.

#### COMBINAISONS DU CHLORE AVEC LE BROME.

On connaît seulement un chlorure de brome, mal étudié.



Poids atomique = 127      Poids moléculaire = 254

On peut obtenir ce métalloïde soit en décomposant une solution d'iodure de sodium par un courant de chlore et recueillant sur un

ltre l'iode pulvérulent qui se précipite ; soit par la même réaction que le chlore et le brome, en substituant un iodure métallique aux chlorures ou aux bromures.

L'iode est solide, cristallisé en paillettes grisâtres qui ont l'éclat métallique. Il fond à 113° et bout au-dessus de 200°. Ses vapeurs sont d'une magnifique couleur violette. L'odeur de l'iode a quelque analogie avec celle du chlore, mais elle est beaucoup plus légère et peut être fort bien tolérée.

L'eau pure n'en dissout que  $\frac{1}{7000}$  de son poids, mais elle en dissout des quantités considérables lorsqu'elle tient en dissolution des iodures ou de l'acide iodhydrique. L'alcool, l'éther, la benzine, le chloroforme et les essences dissolvent l'iode avec facilité.

La densité de l'iode est 4,95, sa densité de vapeur 8,716. L'iode tache le papier et la peau en brun ; la coloration ne persiste pas.

Les quantités les plus faibles d'iode colorent en bleu intense l'amidon bouilli dans l'eau (empois d'amidon). La liqueur se décolore à chaud et reprend sa couleur par le refroidissement.

Les affinités de l'iode sont de même nature que celles du chlore et du brome ; seulement, ayant pour l'oxygène une affinité plus énergique que ces deux corps, l'iode possède pour tous les autres éléments des affinités plus faibles que les leurs. Il en résulte que, tandis que le chlore et le brome le chassent de toutes ses combinaisons non oxygénées, c'est lui qui chasse le chlore et le brome de leurs composés oxygénés.

L'iode est très-employé en médecine, c'est un médicament précieux ; il guérit le goitre, lorsque ce dernier est dû non à une dégénérescence, mais à une simple hypertrophie du corps thyroïde ; surtout il empêche cette affection de se manifester. On a conseillé de mêler aux aliments un composé iodé dans les lieux où le goitre est endémique.

L'iode réussit encore dans la scrofule et dans les accidents tertiaires de la syphilis. M. Piorry dit en avoir obtenu d'excellents résultats contre la plithisie pulmonaire.

#### COMBINAISONS DE L'IODE AVEC LE CHLORE ET LE BROME.

**Chlorures d'iode.** On connaît deux chlorures d'iode : un protochlorure ICl, et un perchlorure ICl<sup>5</sup>. Ces deux chlorures s'obtiennent en faisant agir directement le chlore sur l'iode. Le chlore doit

être en excès si l'on veut obtenir le perchlorure, et l'iode doit être en excès si c'est le protochlorure que l'on veut préparer.

Le protochlorure d'iode est liquide et le perchlorure solide; tous deux, en présence d'une grande quantité d'eau et d'un excès de chlore, donnent naissance à de l'acide chlorhydrique et à de l'acide iodique.

**Bromures d'iode.** En combinant directement le brome à l'iode on obtient, selon les quantités respectives de ces corps, soit un protobromure solide, soit un perbromure liquide.



Poids atomique = 19    Poids moléculaire = 38

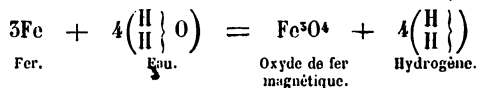
Le fluor existe dans les composés qui portent le nom de fluorures et dans l'acide fluorhydrique. La facilité avec laquelle il attaque tous les corps n'a pas permis jusqu'ici de l'obtenir à l'état de liberté.



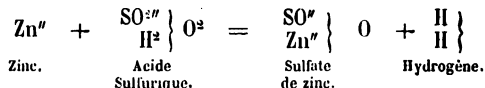
Poids atomique = 1    Poids moléculaire = 2

L'hydrogène est contenu dans l'eau, où il entre en même temps que l'oxygène.

On peut obtenir l'hydrogène libre en faisant passer de la vapeur d'eau sur de la tournure de fer placée dans un tube de porcelaine chauffé au rouge :



Il est cependant plus commode de déplacer à froid l'hydrogène des acides sulfurique ou chlorhydrique par un métal tel que le fer ou le zinc :



Cette opération s'exécute dans un flacon à deux tubulures (fig. 14); dans l'une de ces tubulures est adapté un tube qui descend jusqu'au fond du liquide et permet de verser l'acide; dans l'autre

est placé un tube qui s'arrête au niveau inférieur du bouchon et qui livre passage au gaz. On doit toujours, dans cette opération, employer un acide étendu, sinon le sulfate de zinc, ne trouvant

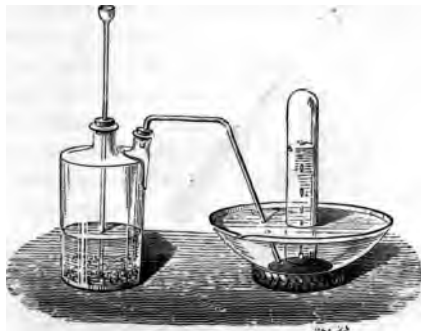
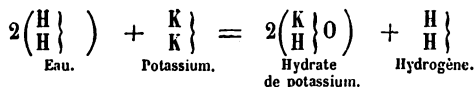


Fig. 14.

pas à se dissoudre, se dépose sur le métal, le préserve du contact de l'acide et empêche l'opération de se continuer.

On peut encore obtenir l'hydrogène en décomposant l'eau par le potassium ou le sodium; on entoure de papier un morceau bien décapé de l'un ou de l'autre de ces métaux et on l'introduit sous une cloche remplie de mercure à l'extrémité supérieure de laquelle se trouve un peu d'eau. Le métal s'élève, par suite de son faible poids spécifique, jusqu'au sommet de la cloche; on voit alors l'eau et le mercure baisser, le potassium ou le sodium disparaître et la cloche se remplir d'hydrogène. La réaction qui s'accomplit est la suivante :



Cette réaction est trop énergique pour qu'on puisse l'employer à la production continue de l'hydrogène, elle donne d'ailleurs quelquefois lieu à des explosions; mais on peut la modérer en employant l'amalgame de potassium ou de sodium au lieu du métal pur. On opère alors dans un appareil semblable à celui dans lequel on traite le zinc par l'acide sulfurique.

Enfin on obtient de l'hydrogène chimiquement pur au moyen de

la pile. On emploie à cet usage l'appareil (*fig. 15*) ; c'est un flacon en verre muni à sa partie inférieure d'une tubulure dans laquelle est mastiqué un fil de platine *a* recouvert d'une couche d'amalgame

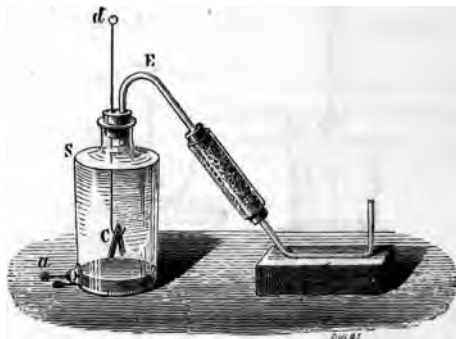


Fig. 15.

de zinc. Le flacon est ensuite rempli d'eau acidulée par de l'acide sulfurique pur jusqu'au niveau du goulot en S. Ce goulot est fermé par un bouchon dans lequel on passe : 1° un fil de platine *d*, 2° un tube de dégagement E. Sur le trajet de ce dernier, on interpose un tube plus grand rempli de chlorure de calcium, corps très-avide d'humidité et destiné à dessécher le gaz. Le fil de platine *d* plonge dans le liquide et se termine par une anse C à laquelle est suspendue une feuille du même métal. Il suffit de mettre le fil *d* en communication avec le pôle négatif d'une pile de deux éléments Bunsen, et le fil *a* en communication avec le pôle positif de la même pile, pour que de l'hydrogène pur se dégage en C.

L'hydrogène est gazeux ; il n'a pu être liquéfié sous aucune pression et à aucune température ; il est incolore, sans odeur ni saveur ; sa densité est 0,0693.

L'eau en dissout  $\frac{1}{100}$  de son volume environ. L'hydrogène est éminemment combustible. Si on le fait dégager par un tube très-effilé et qu'on l'allume, il brûle avec une flamme peu éclairante et très-chaude ; c'est ce qu'on a appelé la lampe philosophique. Cette flamme dépose de la vapeur d'eau sur les corps froids, ce qui démontre que l'eau est composée d'hydrogène et d'oxygène.

Lorsqu'on place autour de la flamme de l'hydrogène un cylindre de verre ouvert à ses deux extrémités, on entend un son que l'on



peut rendre à volonté plus grave ou plus aigu en enfonçant plus ou moins le cylindre. Ce son a fait donner à l'appareil le nom d'harmonica chimique : il est dû à une série de vibrations qui ont lieu dans le cylindre par suite de la formation et de la condensation brusques d'une certaine quantité de vapeur d'eau.

L'hydrogène, qui ne s'enflamme généralement à l'air que si on le met en contact avec un corps en combustion, peut s'enflammer spontanément sous l'influence de la mousse de platine (\*). On a fondé sur cette propriété un appareil qui permet de se procurer très-facilement de la lumière, et qu'on nomme briquet à hydrogène (Fig. 16).

Cet appareil consiste en un récipient inférieur à pied percé d'une ouverture supérieure et d'une ouverture latérale. Au fond de ce récipient se trouve un gros cylindre de zinc vide à l'intérieur B. En outre de ce premier récipient, l'appareil en contient un second A qui possède à sa partie supérieure une ouverture fermée par un bouchon à l'émeri, et qui, par sa partie inférieure, se termine par un long tube D ouvert à son extrémité. Ce second récipient se renverse sur le premier, de manière à ce que le tube qui le termine vienne plonger par son extrémité ouverte dans le vide qui se trouve au milieu du cylindre de zinc, et cela le plus profondément possible. L'extrémité supérieure externe de ce tube est rodée à l'émeri dans l'ouverture supérieure du récipient inférieur.

Enfin ce dernier récipient porte en E une tubulure munie d'un robinet, et vis-à-vis l'ouverture de ce robinet se trouve fixée une éponge de platine F.

Voici maintenant comment fonctionne l'appareil :

Si, le robinet E étant ouvert, on verse de l'acide sulfurique étendu par la tubulure supérieure du récipient A, l'acide tombe dans le récipient inférieur et vient agir sur le zinc, au contact duquel il donne lieu à un dégagement d'hydrogène. Ce gaz s'échappe

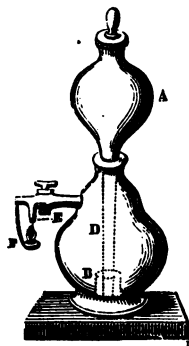


Fig. 16.

(\*) On nomme mousse de platine, la masse spongieuse de platine qu'on obtient en décomposant par la chaleur certains composés de ce métal.

par le robinet F, vient heurter contre l'éponge de platine et s'enflamme. Veut-on que l'appareil cesse de fonctionner, on ferme le robinet E en ayant soin de tenir ouverte la tubulure supérieure du vase A; le gaz qui se produit dans le vase inférieur ne trouvant plus d'issue se comprime, presse sur le liquide contenu dans ce vase, et l'oblige à s'élever dans le tube D et dans le récipient A.

Le zinc et l'acide sulfurique se trouvant ainsi séparés, toute action chimique s'arrête. Lorsqu'on veut de nouveau faire fonctionner l'appareil, il suffit d'ouvrir le robinet E : la pression du gaz dans le récipient inférieur cessant tout à coup, le liquide y descend de nouveau, et le dégagement gazeux recommence.

Il suffit donc d'ouvrir le robinet toutes les fois qu'on veut de la lumière. Malheureusement l'éponge de platine se fatigue vite, et si l'on n'a pas soin de la révivifier de temps en temps, en la chauffant au rouge, elle perd la propriété d'enflammer le gaz. C'est probablement ce qui a empêché le briquet à hydrogène d'être employé dans l'usage domestique.

Le mélange d'hydrogène et d'oxygène fait explosion lorsqu'on y met le feu; l'explosion la plus vive possible s'obtient avec un mélange de deux volumes d'hydrogène pour un volume d'oxygène.

Si l'on tient les deux gaz dans deux gazomètres différents, dont l'écoulement soit convenablement réglé, et qu'on les fasse arriver tous deux dans un tube de métal très-fort, contenant plusieurs disques de toile métallique, on peut allumer sans danger le mélange qui sort de ce tube. La flamme que l'on obtient donne une température d'environ 2500°; un pareil jet enflammé, dirigé sur un bâton de craie, le rend incandescent et produit une lumière très-vive qui a reçu le nom de lumière de *Drummond*.

L'hydrogène étant très-peu soluble dans l'eau, peut sans inconvénient être recueilli sur ce liquide. Pourtant si l'on tenait à l'avoir sec on devrait le recueillir sur le mercure.

On a prétendu que l'hydrogène dégagé par la pile à une basse température est plus actif que celui qu'on obtient par les procédés ordinaires, mais ce fait n'est pas suffisamment démontré.

Presque tous les métaux ont la propriété d'absorber, de condenser plus ou moins l'hydrogène lorsqu'on les chauffe dans ce gaz. Graham, à qui nous devons l'étude de cet intéressant phénomène, l'a désigné par le nom *occlusion*.

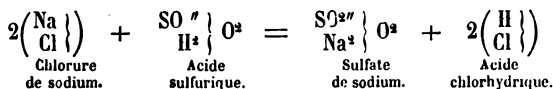
Un métal, le palladium, se distingue par son pouvoir absorbant énorme pour l'hydrogène; un volume de palladium peut condenser jusqu'à 700 volumes de ce gaz. L'hydrogène *occlus* ne se dégage pas dans le vide; il s'est allié au métal et en a changé considérablement les propriétés: le métal a augmenté de volume, a diminué de densité, est devenu magnétique, tout en conservant son éclat métallique, une ténacité et un pouvoir conducteur électrique considérables. Vient-on à chasser l'hydrogène *occlus*, en chauffant le métal au rouge, ce dernier reprend son état primitif.

Graham a conclu de là, avec beaucoup de probabilité, que l'hydrogène se rapproche des métaux, puisqu'il peut former des alliages avec eux, qu'il est bon conducteur de l'électricité et qu'il est magnétique. D'autre part, l'hydrogène gazeux possède une certaine conductibilité pour la chaleur, dont les autres gaz sont dépourvus. Graham a donné à cet hydrogène, qui doit être à l'état solide dans l'alliage de palladium et d'hydrogène, le nom d'*hydrogénium*.

L'hydrogénium possède une densité d'environ 0,735. Il jouit d'affinités bien plus énergiques que l'hydrogène gazeux; c'est ainsi qu'il s'unit directement et à l'obscurité au chlore et à l'iode; cette union directe étant impossible dans le cas de l'iode et ne s'effectuant pour le chlore que sous l'influence de la lumière.

COMBINAISONS DE L'HYDROGÈNE AVEC LE CHLORE, LE BROME,  
L'IODE ET LE FLUOR.

**Acide chlorhydrique.**  $\left. \begin{array}{c} \text{H} \\ \text{Cl} \end{array} \right\}$ . L'acide chlorhydrique s'obtient en chauffant légèrement du chlorure de sodium avec de l'acide sulfurique.



On peut encore l'obtenir en abandonnant pendant vingt-quatre heures à la lumière diffuse un mélange de volumes égaux de chlore et d'hydrogène.

L'acide chlorhydrique est gazeux, mais peut être liquéfié sous l'influence d'une forte pression; sa densité est égale à 1,269; il est incolore et a une odeur très-irritante.

L'acide chlorhydrique est fort soluble dans l'eau. Ce liquide en

dissout environ 500 fois son volume. La solution constitue un liquide très-acide, fumant à l'air, qu'on obtient au moyen de l'appareil de Woulf; lorsqu'on la distille elle perd une partie de son acide chlorhydrique, mais une autre partie reste intimement combinée au liquide.

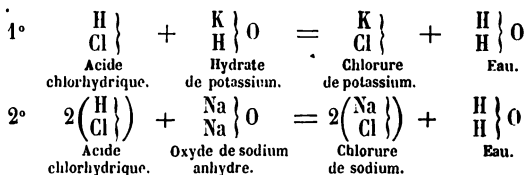
A cause de sa grande solubilité dans l'eau, l'acide chlorhydrique doit être recueilli sur le mercure.

La solution d'acide chlorhydrique peut être exposée indéfiniment au contact de l'air sans se décomposer. Au rouge, l'oxygène décompose cet acide en mettant le chlore en liberté, mais la quantité de chlore produite est très-petite par rapport à la proportion d'oxygène employée. Nous avons vu que, dans les conditions inverses, c'est le chlore qui décompose l'eau.

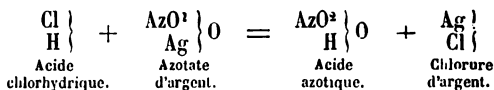
L'acide chlorhydrique n'attaque pas le mercure, mais il dissout le potassium, le sodium, le fer, le zinc, etc., avec une grande facilité; il se forme alors un chlorure, et de l'hydrogène se dégage.

L'iode et le brome sont sans action sur cet acide.

Les bases et les anhydrides basiques réagissent sur lui en donnant naissance à des chlorures métalliques en même temps qu'à de l'eau.



Versé dans la solution d'un sel d'argent, l'acide chlorhydrique produit un précipité blanc de chlorure d'argent tout à fait insoluble dans l'eau.



La composition de l'acide chlorhydrique peut être déterminée par voie analytique et par voie synthétique.

PAR VOIE ANALYTIQUE. On introduit un volume connu de cet acide, à l'état gazeux et parfaitement sec, dans une petite cloche courbe placée sur la cuve à mercure (fig. 17): on met un globe

de sodium dans la partie recourbée de cette cloche et l'on chauffe légèrement. Le métal s'empare du chlore et laisse de l'hydrogène



Fig. 17.

pur. Cet hydrogène n'occupe que la moitié du volume qu'occupait le gaz chlorhydrique.

Or, si de la densité de l'acide chlorhydrique. . . . .	1,269
on retranche la demi-densité de l'oxygène . . . . .	0,0346
il reste. . . . .	1,2344

qui est à peu près la demi-densité du chlore.

Un volume de gaz acide chlorhydrique renferme donc un demi-volume de chlore et un demi-volume d'hydrogène unis sans condensation.

**PAR VOIE SYNTHÉTIQUE.** On mêle des volumes connus de chlore et d'hydrogène, en ayant soin que l'hydrogène soit en excès ; on abandonne le tout à la lumière diffuse pendant vingt-quatre heures et l'on absorbe ensuite par la potasse l'acide chlorhydrique produit. Le gaz qui reste est de l'hydrogène pur dont on détermine le volume. Celui-ci, retranché du volume d'hydrogène que contenait le mélange, donne l'hydrogène combiné. On voit ainsi qu'un volume de chlore s'empare d'un volume d'hydrogène pour former de l'acide chlorhydrique, et, comme, de plus, on n'observe aucune contraction pendant la combinaison de ces gaz, on en conclut qu'un volume de chlore, en s'unissant à un volume d'hydrogène, donne deux volumes d'acide chlorhydrique.

De cette connaissance des volumes qui entrent en combinaison on peut passer facilement à la composition en poids ; si l'on con-

sidère, en effet, que les poids de volumes égaux de chlore, d'hydrogène et d'acide chlorhydrique sont proportionnels aux densités respectives de ces gaz, on pourra poser les proportions :

$$1,269 : 1,2344 :: 100 : x, \text{ d'où } x = \frac{1,2344 \times 100}{1,269} = 97,27$$

$$\text{et } 1,269 : 0,0546 :: 100 : x, \text{ d'où } x = \frac{0,0546 \times 100}{1,269} = 2,73$$

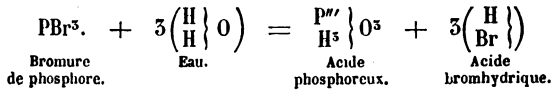
qui donnent pour la compensation centésimale de l'acide chlorhydrique :

Chlore. . . . .	97,27.
Hydrogène. . . . .	2,73
	100,00

L'acide chlorhydrique étendu d'eau est quelquefois employé en médecine pour faire des pédiluves rubéfiants..

**Acide bromhydrique.** L'acide bromhydrique ne peut pas être obtenu pur par l'action de l'acide sulfurique sur un bromure, car l'acide sulfurique le décompose partiellement.

On le prépare en faisant agir l'eau sur le bromure de phosphore.



On opère généralement de manière à ce que le bromure se produise et se détruise dans la même opération. A cet effet, on fait tomber goutte à goutte le brome dans un vase qui contient du phosphore amorphe et de l'eau.

On peut aussi obtenir l'acide bromhydrique par l'action directe du brome sur l'hydrogène. Seulement pour que la combinaison se fasse, il faut chauffer au rouge le mélange d'hydrogène et de vapeurs de brome; encore n'est-elle jamais complète.

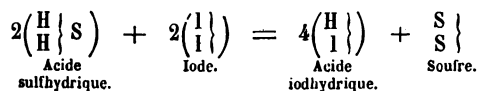
Les propriétés de l'acide bromhydrique sont les mêmes que celles de l'acide chlorhydrique; on remarque, cependant, les deux différences suivantes :

1° La solution de l'acide bromhydrique exposée à l'air se colore en mettant un peu de brome en liberté sans cependant que la décomposition se continue. Rien de tel ne se produit avec l'acide chlorhydrique.

2° Sous l'influence du chlore, l'acide bromhydrique met du brome en liberté en même temps que de l'acide chlorhydrique prend naissance.

**Acide iodhydrique.** On prépare cet acide en décomposant l'iodure de phosphore par l'eau. Pour que l'iodure de phosphore se produise et se détruise dans la même opération, on chauffe dans une cornue un mélange d'iode, de phosphore amorphe et d'une petite quantité d'eau.

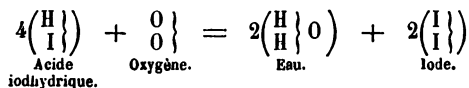
L'acide iodhydrique peut encore être obtenu en solution par la décomposition de l'acide sulfhydrique sous l'influence de l'iode.



On peut le préparer par synthèse directe, en faisant passer un mélange de vapeur d'iode et d'hydrogène sur de l'éponge de platine chauffée, ou bien en faisant agir l'iode sur du palladium chargé d'hydrogène (alliage de palladium et d'hydrogénium).

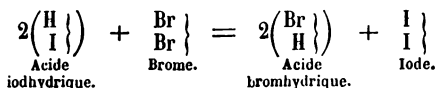
Les caractères qui distinguent l'acide iodhydrique des deux acides précédents sont les suivants :

1° Au contact de l'air la solution d'acide iodhydrique éprouve une décomposition continue, il se forme de l'eau et de l'iode libre.



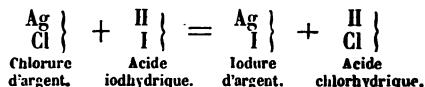
Ce métalloïde se dissout d'abord en colorant en brun la liqueur. La quantité d'acide iodhydrique que cette liqueur renferme diminue sans cesse et celle de l'iode libre augmentant, ce dernier corps finit par ne plus pouvoir rester en dissolution, et se dépose alors en cristaux très-volumineux.

2° L'acide iodhydrique est décomposé par le chlore et le brome qui, l'un et l'autre, mettent l'iode en liberté.

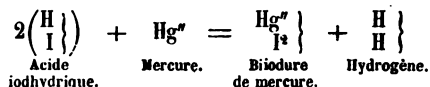


Au contraire, si l'on fait agir l'acide iodhydrique sur du brome ou sur du chlorure d'argent, il se produit de l'acide bromhy-

drique ou chlorhydrique et de l'iodure d'argent.



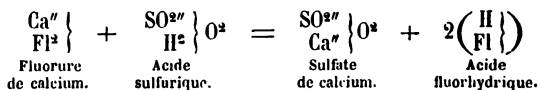
3° L'acide iodhydrique est décomposé par le mercure avec formation d'iodure de mercure et d'hydrogène libre.



Cette propriété est cause qu'on ne peut recueillir le gaz acide iodhydrique sur le mercure, et la grande solubilité de ce corps s'oppose à ce qu'on le recueille sur l'eau. On est obligé d'employer, pour l'obtenir, le même procédé que pour le chlore. Sa densité fort élevée lui permet, en effet, de déplacer l'air directement.

Ne pouvant recueillir l'acide iodhydrique sur le mercure, on ne peut pas l'analyser; seulement on constate que si de sa densité l'on retranche la demi-densité de l'hydrogène, il reste un nombre sensiblement égal à la demi-densité de la vapeur d'iode; de plus cet acide obéit au même système général de réactions que les acides chlorhydrique et bromhydrique; comme eux il est donc formé d'un demi-volume d'hydrogène uni sans condensation à un demi-volume de vapeur d'iode.

**Acide fluorhydrique.** Ce composé se prépare par l'action de l'acide sulfurique sur le fluorure de calcium.



Le produit ainsi préparé renferme encore un peu d'eau, qu'on peut lui enlever en le distillant avec l'anhydride phosphorique. L'acide fluorhydrique forme à basse température un liquide incolore qui se réduit en gaz à la température ordinaire. Il présente une stabilité bien supérieure à celle de l'acide chlorhydrique. Il attaque le verre, propriété qui est utilisée pour la gravure sur verre; enfin, en réagissant sur l'oxyde d'argent, l'acide fluorhydrique donne naissance à un fluorure d'argent soluble.

L'acide fluorhydrique est un poison énergique; il suffit d'en



laisser tomber quelques gouttes sur la peau pour produire une brûlure longue à guérir et qui s'accompagne de fièvre.

Ces diverses propriétés distinguent l'acide fluorhydrique des trois hydracides précédents dont tous ses autres caractères le rapprochent.

Cette analogie suffit pour faire donner à cet acide la formule  $\left. \begin{array}{c} \text{H} \\ \text{FI} \end{array} \right\}$ , bien que, le fluor n'étant pas connu, on n'en puisse faire une analyse sûre, et bien que la facilité avec laquelle il attaque le verre ait empêché de déterminer sa densité de vapeur et par suite son poids moléculaire.

GÉNÉRALITÉS SUR LES MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES.

Il y a peu de choses à dire sur ces corps au point de vue général, c'est-à-dire au point de vue de la théorie générale des combinaisons auxquelles ils peuvent donner naissance. En effet, chacun d'eux ayant une capacité de saturation égale à 1, ne peut se combiner qu'à un seul atome d'un autre corps monatomique; de là un nombre de combinaisons fort limité.

Le trichlorure d'iode  $\text{ICl}_3$  fait exception à cette loi. M. Kekulé suppose qu'il résulte de l'union d'une molécule de chlore  $\left. \begin{array}{c} \text{Cl} \\ \text{Cl} \end{array} \right\}$  avec une molécule de protochlorure d'iode  $\left. \begin{array}{c} \text{I} \\ \text{Cl} \end{array} \right\}$ . Dans cette hypothèse, le chlore y serait uni au protochlorure comme l'eau de cristallisation l'est aux diverses substances qui entrent dans les cristaux hydratés. Le perchlorure d'iode s'écrirait alors :



Toutefois l'existence du corps  $\text{I}''' \left\{ \begin{array}{l} \text{OC}^2\text{H}^5\text{O} \\ \text{OC}^2\text{H}^5\text{O} \\ \text{OC}^2\text{H}^5\text{O} \end{array} \right.$  qui résulte du remplacement des trois atomes de chlore de ce chlorure par trois oxacétyles, prouve que l'iode est réellement triatomique, bien qu'il fonctionne presque toujours comme monovalent.

## DEUXIÈME FAMILLE (MÉTALLOÏDES DIATOMIQUES).

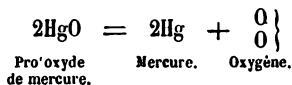
—

**OXYGÈNE**  $\left. \begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix} \right\}$

Poids atomique = 16.    Poids moléculaire = 32.

On peut préparer l'oxygène de plusieurs manières différentes

1° On chauffe le protoxyde de mercure, qui se scinde en oxygène et en mercure.



La flamme d'une lampe à alcool suffit pour cette opération et s'exécute dans un petit tube fermé (fig. 18).

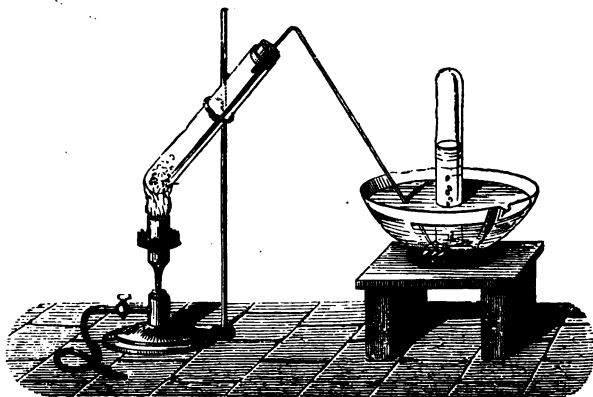
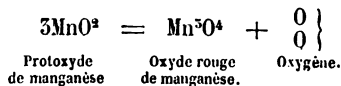


Fig. 18.

2° On calcine au rouge du bioxyde de manganèse dans une cornue de grès. Cet oxyde perd alors le tiers de son oxygène.



Comme le bioxyde de manganèse contient toujours un peu de carbonate du même métal, l'oxygène que l'on produit ainsi est accom-

pagné d'anhydride carbonique. Pour l'en débarrasser on lui fait traverser, avant de le recueillir, un flacon à trois tubulures dis-

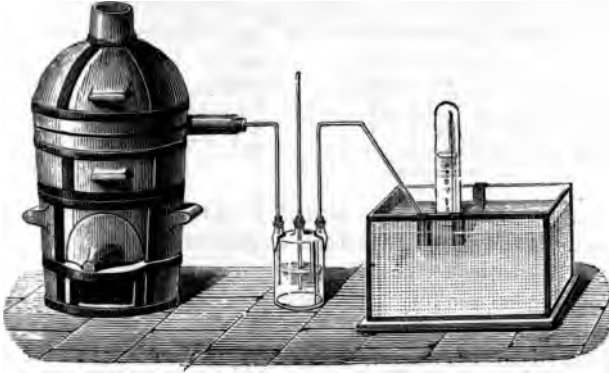


Fig. 19.

posé comme dans l'appareil de Woulf, et contenant une dissolution de potasse (*fig. 19*).

3° On chauffe légèrement du bioxyde de manganèse avec de

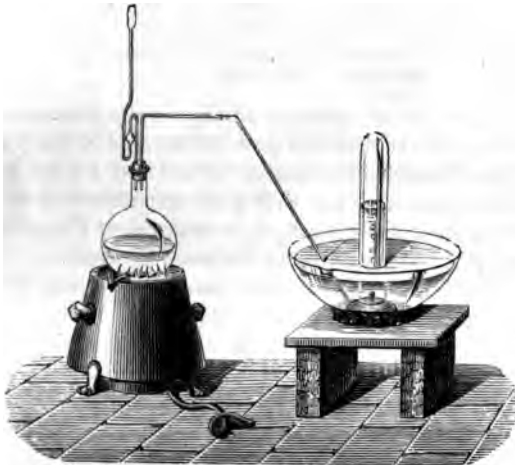
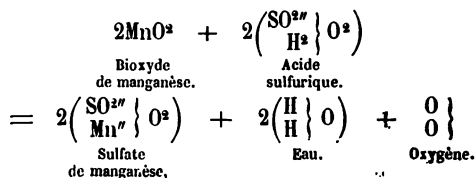


Fig. 20.

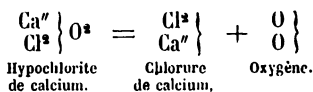
l'acide sulfurique dans un petit ballon (*fig. 20*); il se forme du

sulfate de manganèse au minimum et de l'eau, et la moitié de l'oxygène que renfermait le bioxyde se dégage.



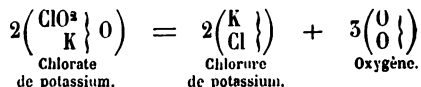
Le carbonate de manganèse perdant à froid par l'action de l'acide sulfurique tout l'anhydride carbonique qu'il est capable de dégager, il suffit d'abandonner le mélange précédent à lui-même pendant quelque temps, avant de le chauffer, pour que l'oxygène que l'on recueille soit à peu près pur.

4° On chauffe légèrement, dans un appareil analogue au précédent, une solution concentrée d'hypochlorite de calcium (chlorure de chaux du commerce) avec une petite quantité de peroxyde de cobalt : il se dégage de l'oxygène et l'hypochlorite de calcium passe à l'état de chlorure de calcium.



C'est le peroxyde de cobalt qui provoque cette décomposition : sous l'influence de la chaleur il perd de l'oxygène et passe à l'état d'oxyde, que l'hypochlorite ramène de nouveau à l'état de peroxyde. Il se produit donc une série de décompositions et de reconstitutions du peroxyde de cobalt, et le dégagement d'oxygène continue tant qu'il reste de l'hypochlorite non décomposé.

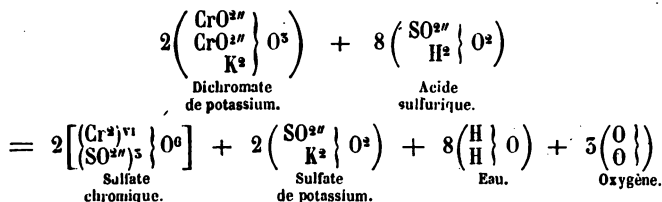
5° On chauffe le chlorate de potassium : il se dégage de l'oxygène et il reste du chlorure de potassium.



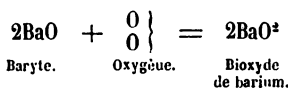
On favorise beaucoup cette réaction en mêlant au chlorate de potassium une petite quantité d'oxyde de cuivre, de sesquioxyde de fer ou de bioxyde de manganèse. Ces oxydes se retrouvent après la

réaction et ne paraissent prendre aucune part à la réaction. Mais en réalité ils jouent un rôle identique à celui de l'oxyde de cobalt dans le mode de préparation précédent : le chlorate potassique les transforme en peroxydes qui, n'étant pas stables, cèdent immédiatement après leur oxygène et régénèrent les oxydes.

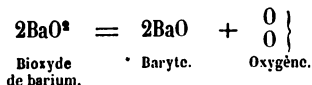
6° On chauffe le dichromate de potassium avec de l'acide sulfurique à une douce chaleur ; l'oxygène prend naissance en même temps qu'il se produit de l'eau, du sulfate chromique et du sulfate de potassium.



7° On chauffe la baryte au rouge sombre dans un courant d'air sec ; elle absorbe de l'oxygène et se transforme en bioxyde de barium.



On arrête ensuite le courant d'air et l'on porte la température au rouge vif. Le bioxyde de barium se détruit alors avec production d'oxygène et régénération de baryte.



Avec la même quantité de baryte on peut retirer de l'air une grande quantité d'oxygène. Cet oxyde ne peut cependant pas servir indéfiniment ; au bout d'un certain temps il cesse d'être apte à absorber l'oxygène de l'air à cause d'une espèce de vitrification qui se produit à sa surface.

8° On chauffe le manganate de sodium dans un courant de vapeur d'eau surchauffée : le sel perd dans ces conditions son oxygène

long d'une quarantaine de centimètres, qui porte à l'intérieur un gros fil de platine ; à l'extérieur sa surface est recouverte d'étain



Fig. 21.

ou d'une spirale en fil de cuivre. Si l'on fait communiquer un des pôles d'une bobine d'induction avec le fil intérieur et l'autre pôle avec l'armature extérieure, l'oxygène se trouve soumis à l'aigrette électrique et sort de l'appareil fortement ozoné.

On ne connaît pas encore l'ozone à l'état de pureté ; il est toujours mélangé d'une forte proportion d'oxygène.

Lorsqu'on transforme de l'oxygène en ozone on observe une contraction du volume ; mais lorsqu'on absorbe ensuite l'ozone par un corps oxydable, il ne se manifeste aucune contraction nouvelle dans la plupart des cas. Cependant si l'on détruit l'ozone par le protochlorure d'étain en solution suffisamment étendue, pour qu'il n'absorbe plus l'oxygène ordinaire, on observe une nouvelle contraction, double de celle qui avait eu lieu primitivement.

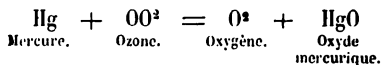
De ces faits on conclut que l'ozone n'est autre que de l'oxygène condensé : *trois* volumes de ce gaz se sont condensés en *deux*, et si l'oxygène libre est un oxyde d'oxygène  $OO$ , l'ozone apparaît comme du peroxyde d'oxygène  $OO^2$ .



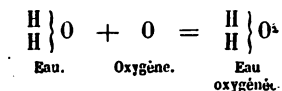
Cette déduction est confirmée par la densité de l'ozone, qui a été trouvée = 1,658, c'est-à-dire,  $1 \frac{1}{3}$  fois celle de l'oxygène. Des expériences sur la vitesse de diffusion de l'ozone ont conduit au même résultat.

Enfin vers  $500^\circ$  l'ozone se convertit en oxygène ordinaire, en subissant une augmentation de volume de  $\frac{1}{3}$ .

Lorsque l'ozone se détruit en agissant sur les matières oxydables, le tiers seulement de l'oxygène contenu dans l'ozone se montre actif, et les deux autres tiers devenus libres reconstituent de l'oxygène ordinaire.



Dans l'oxydation du chlorure stanneux, de l'essence de térébenthine ou de l'essence de cannelle, l'ozone agit par ses trois atomes d'oxygène. Enfin, lorsque l'ozone détruit l'indigo, deux atomes d'oxygène servent à oxyder la matière organique et le troisième se porte sur l'eau pour former de l'eau oxygénée.



Pour reconnaître la présence de l'ozone on fait usage d'un papier trempé dans une solution d'iodure de potassium contenant de l'empois d'amidon, l'iode mis en liberté se trouvant en contact avec l'amidon, le papier se colore en bleu.

Comme d'autres corps donnent la même réaction, on préfère se servir d'un papier rouge de tournesol trempé dans une solution d'iodure de potassium. L'ozone décompose ce sel et il se forme de l'oxyde de potassium; celui-ci, au contact de l'humidité, bleuit le tournesol. On a toujours soin de placer à côté du papier ozonoscopique un autre papier de tournesol rougi; on s'assure ainsi que la coloration bleue est due réellement à l'ozone et non à la présence accidentelle d'une petite quantité d'ammoniaque.

L'ozone existe dans les bois, dans les champs, partout où il y a une végétation active. Dans les grandes cités, au contraire, dans les maisons, partout où beaucoup d'hommes ou d'animaux sont réunis, l'ozone disparaît ou tout au moins diminue.

On constate encore que l'ozone disparaît pendant les grandes épidémies. Ces épidémies tiennent-elles à la disparition de l'ozone qui, n'étant plus là pour brûler les miasmes, permet à ceux-ci de s'accumuler? ne tiennent-elles pas plutôt à une production d'une quantité de miasmes telle que l'ozone tout entier employé à les détruire n'y suffit pas? En d'autres termes, les épidémies sont-elles la cause où le résultat de la disparition de l'ozone: c'est là un fait jusqu'ici impossible à résoudre.

Schœnbein, à qui l'on doit la découverte de l'ozone, avait admis pour l'oxygène un autre état allotropique auquel il avait donné le nom d'antozone; mais, d'après des recherches plus récentes, l'antozone n'existe pas

## COMBINAISONS DE L'OXYGÈNE AVEC L'HYDROGÈNE.

**Eau**  $\text{H}^2\text{O} = \left. \begin{array}{l} \text{H} \\ \text{H} \end{array} \right\} \text{O}$ . L'eau a été considérée comme un corps simple jusqu'à la fin du siècle dernier. Cavendish, le premier, observa que cette substance se forme par la combustion de l'hydrogène et déduisit hypothétiquement de cette expérience la composition de l'eau. Lavoisier vérifia bientôt cette conjecture. Il fit passer de la vapeur d'eau dans un tube de porcelaine, chauffé au rouge et contenant de la tournure de fer; il constata que, dans ce cas, une décomposition a lieu, et que de l'oxygène reste fixé sur le fer dont le poids augmente, tandis que l'hydrogène se dégage. Ce n'est que plus tard que la composition quantitative de l'eau a été déterminée exactement.

Cette détermination peut se faire soit par voie analytique, soit par voie synthétique.

**PAR VOIE ANALYTIQUE.** On place de l'eau dans un vase de verre A (fig. 22) dont le fond est percé de deux trous. Dans ces deux trous sont mastiqués deux fils de platine; au-dessus de la portion

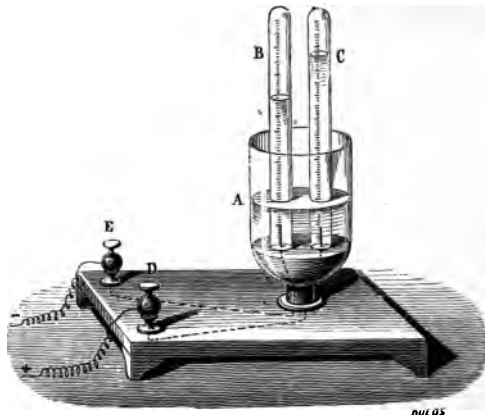


Fig 22.

de chacun de ces fils qui se trouve dans le verre, on renverse une éprouvette à gaz graduée et pleine d'eau, B et C. On met ensuite les extrémités des fils D et E en communication avec les pôles opposés



d'une pile. On voit aussitôt des bulles de gaz prendre naissance à la surface des fils et se rendre dans les éprouvettes. Si, après un certain temps, on mesure les volumes de gaz produits, on constate que le gaz développé au pôle positif occupe un volume moitié moindre que celui qui s'est développé au pôle négatif; on constate, de plus, que le premier de ces gaz est de l'oxygène contenant une faible proportion d'ozone, et le second de l'hydrogène pur. Pour faciliter cette expérience on acidule toujours avec un peu d'acide sulfurique l'eau du voltamètre (c'est le nom de l'appareil que nous venons de décrire), afin de la rendre plus conductrice.

L'eau est donc formée de deux volumes d'hydrogène et d'un volume d'oxygène. Comme en ajoutant :

A la double densité de l'hydrogène . . . . .	0,1386
la densité de l'oxygène . . . . .	0,1056

on obtient le nombre. . . . . 1,2442

qui représente à très-peu près le double de la densité de vapeur de l'eau, 0,622, on en conclut que les deux volumes d'hydrogène et le volume d'oxygène sont condensés en deux volumes.

Connaissant la densité de l'hydrogène, de l'oxygène et de la vapeur d'eau, on peut facilement transformer en poids par le calcul les nombres précédents.

**PAR VOIE SYNTHÉTIQUE.** On peut opérer à l'aide de l'eudiomètre ou par le procédé de M. Dumas.

*Procédé eudiométrique.* On nomme eudiomètre une cloche de verre fort épais (*fig. 23*), percée à sa partie supérieure de deux trous, dans lesquels sont mastiquées deux tiges de fer, terminées chacune par une petite boule à ses deux extrémités. Les deux boules internes C et D se touchent presque. Quant aux boules extérieures, l'une est libre B, l'autre A est munie d'une chaîne métallique AF, qui est plus longue que l'eudiomètre. Enfin, à la partie inférieure de la cloche se trouve une armature de fer, sur laquelle vient s'ajuster à volonté un obturateur mobile du même métal E, percé d'un pertuis très-étroit au centre (\*).

S'agit-il de déterminer la composition de l'eau à l'aide de cet instrument, on l'emplit de mercure sur la cuve à mercure, on

(\*) On construit aussi des eudiomètres plus simples, qui consistent en un tube de verre épais, portant directement une graduation en centimètres cubes et muni en haut de deux fils de platine, soudés dans le verre et dont les extrémités sont très-rapprochées dans l'intérieur du tube.

y introduit un volume mesuré d'hydrogène, soit  $4^{\text{cc}}$  et un volume également mesuré d'oxygène que nous supposons aussi égal à  $4^{\text{cc}}$ . Cela fait, l'eudiomètre étant obturé à sa partie inférieure par la pièce métallique dont nous avons parlé, on fait plonger la chaîne AF dans le mercure de la cuve et l'on approche de la boule B un électrophore chargé. Une étincelle part entre cette boule et l'électrophore, et une autre entre les deux boules intérieures C et D. Cette dernière étincelle détermine la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène.

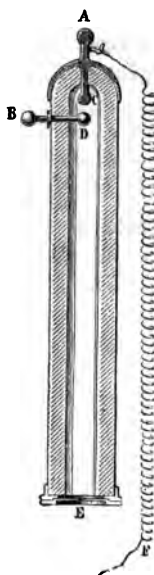


Fig. 25.

Après l'explosion, on transvase le gaz restant dans une éprouvette graduée, où on le mesure. Dans les conditions que nous avons supposées, il resterait  $2^{\text{cc}}$  d'oxygène pur; l'oxygène disparu occupait donc  $2^{\text{cc}}$ , et l'hydrogène  $4^{\text{cc}}$ . Par conséquent l'eau formée se compose de deux volumes d'oxygène et de quatre volumes d'hydrogène, ou, en réduisant le rapport à sa plus simple expression, de deux volumes d'hydrogène et d'un volume d'oxygène.

**PROCÉDÉ DE M. DUMAS.** M. Dumas a imaginé un procédé dans lequel l'emploi de la balance est substitué aux mesures volumétriques. Son appareil se compose de trois parties : la première est destinée à produire et à purifier l'hydrogène ; la seconde à exécuter la synthèse de l'eau, et la troisième à recueillir l'eau qui se forme dans la seconde.

L'hydrogène se produit comme à l'ordinaire, dans un flacon à deux tubulures (fig. 24) A, au moyen de l'acide sulfurique et du zinc du commerce. On lui fait traverser : 1° deux tubes en U, contenant du sulfate d'argent ; ce sel est destiné à absorber les composés phosphorés et arséniés que contient l'hydrogène et qui sont dus aux impuretés du zinc ; 2° un tube *c* contenant de l'acétate de plomb ; ce corps absorbe les dernières traces d'hydrogène sulfuré provenant de la même source ; 3° deux tubes *dd* pleins de potasse ; cette base absorbe une huile qui provient encore de l'impureté du zinc, ainsi que des traces d'acide acétique en vapeurs résultant de l'action de l'hydrogène sulfuré sur l'acétate de plomb

du tube *c*; 4° deux tubes en U, *ee*, remplis, le premier de chlorure de calcium, et le second de pierre ponce imbibée d'acide sulfurique pour dessécher le gaz; 5° un petit tube plein d'anhydride phosphorique, que l'on pèse avant et après l'opération; ce tube doit conserver un poids invariable, indiquer de la sorte que rien ne s'est fixé dans son intérieur, et que, par conséquent, le gaz était sec. Il porte le nom de tube témoin.

L'hydrogène pur passe ensuite dans la deuxième partie de l'appareil, constituée par un ballon en verre à deux tubulures B, dans lequel on a placé de l'oxyde de cuivre bien sec.

En sortant de ce ballon, le gaz se rend dans la troisième partie de l'appareil. Cette troisième partie se compose : 1° d'un ballon à deux tubulures C, 2° de deux tubes en U pleins de pierre-ponce humectée d'acide sulfurique *gg*, 3° d'un petit tube témoin *t* plein d'anhydride phosphorique.

Lorsqu'un veut faire usage de cet appareil on pèse le ballon B après y avoir introduit l'oxyde de cui-

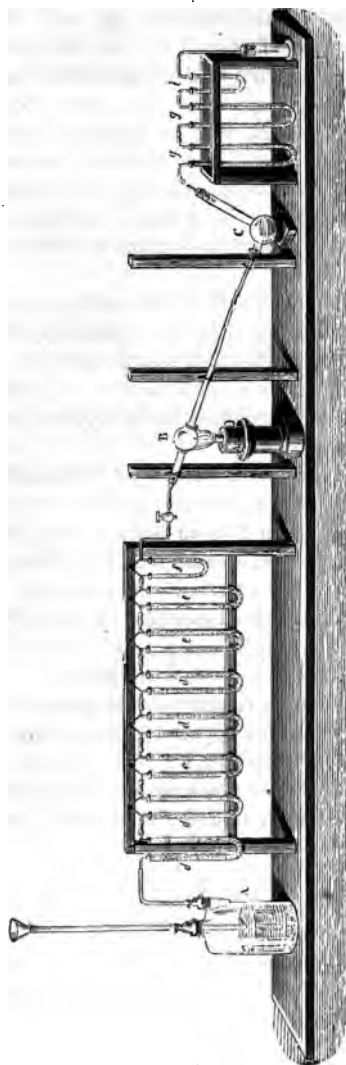


Fig. 2A

vre, soit  $P$  son poids ; on pèse également le ballon C et les deux tubes à ponce sulfurique  $gg$ , soit  $p'$  la somme de leur poids ; puis on monte l'appareil et l'on y fait passer de l'hydrogène jusqu'à ce que l'air en ait été complètement expulsé ; après quoi on chauffe le ballon qui renferme l'oxyde de cuivre en continuant le courant gazeux. Sous les influences simultanées de la chaleur et de l'hydrogène, l'oxyde de cuivre perd son oxygène et se convertit en cuivre métallique, en même temps qu'il se forme de l'eau. Cette eau en vapeur se rend dans le ballon C, où elle se condense en partie, puis dans les tubes  $gg$ , qui retiennent tout ce qui ne s'est pas condensé.

Lorsque l'opération a suffisamment duré, on arrête le courant d'hydrogène et on le remplace par un courant d'air ; après avoir toutefois laissé refroidir le ballon B ; l'air remplit ainsi de nouveau l'appareil, condition nécessaire si l'on veut éviter dans les pesées un erreur résultant de la différence de densité de l'hydrogène et de l'air.

Les diverses parties de l'appareil étant démontées, on pèse, d'une part le ballon B, et de l'autre le ballon C et les tubes  $gg$ .

Le ballon B a un poids  $p$  plus petit que son poids  $P$  d'avant l'expérience, à cause de la perte d'oxygène que l'oxyde de cuivre a subie.  $P-p$  représente le poids de cet oxygène. L'ensemble du ballon C et des tubes  $gg$  a un poids  $P'$  plus grand que son poids  $p'$  d'avant l'expérience à cause de l'eau qui s'y est fixée.  $P'-p'$  représente le poids de l'eau formée.

Enfin, en retranchant du poids de l'eau  $P'-p'$  le poids de l'oxygène  $P-p$  on a, par différence, le poids de l'hydrogène que cette eau contient.

En transformant en centièmes, au moyen d'une proportion, la composition trouvée, on reconnaît que 100 parties d'eau renferment :

Hydrogène. . . . .	11,11
Oxygène. . . . .	88,89

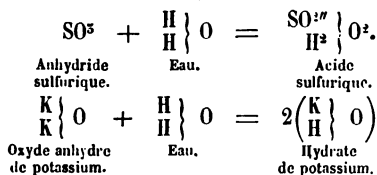
L'eau est liquide à la température ordinaire ; à 0° elle prend l'état solide, et à 100° elle se réduit en vapeur. Si l'eau est bien protégée contre toute agitation, on peut la refroidir à — 12° sans qu'elle se congèle, mais la moindre secousse détermine alors la congélation immédiate de la masse, et la température remonte à 0°.

La glace est cristallisée, seulement ses cristaux sont si enchevêtrés qu'ils apparaissent sous la forme d'une masse transparente continue. C'est sur la neige surtout qu'on peut étudier leur forme, qui est celle de prismes groupés en étoiles appartenant au quatrième système.

L'eau liquide présente un maximum de densité à  $+4^{\circ}$ , c'est à cette température que l'on considère sa densité comme étant égale à 1. La densité de la glace est de 0,94, et la densité de la vapeur d'eau de 0,622.

L'eau pure n'a ni goût ni odeur ni saveur, elle jouit de propriétés dissolvantes très-étendues; cette propriété ne s'étend cependant pas aux substances grasses, ni, en général aux substances organiques très-hydrogénées et très-carbonées.

L'eau se combine directement aux anhydrides acides pour former des acides, et aux anhydrides basiques pour former des bases, lorsque les acides ou les bases qui peuvent prendre naissance ont une atomicité paire; quand, au contraire, leur atomicité est impaire, ils se produisent encore, mais par double décomposition et non par combinaison directe.



L'eau des lacs, des rivières et des mers n'est pas pure. Pour la purifier le moyen le plus sûr est de la distiller. La distillation se fait dans des appareils qui portent le nom d'alambics; ces appareils se composent de trois parties: l'une où l'eau se réduit en vapeurs (cucurbite), l'autre où la vapeur se condense (réfrigérant), et la troisième qui sert à faire communiquer les deux autres. Cette troisième partie peut avoir la forme d'un chapiteau ou être seulement constituée par un long tube recourbé.

Dans les pays froids on peut, à défaut d'alambics, utiliser la congélation. Lorsqu'on fait congeler en partie seulement une masse d'eau impure, les impuretés s'accumulent dans la portion de l'eau restée liquide, et la glace est à peu près pure.

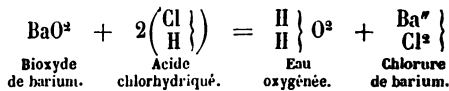
Pour être bonne à l'alimentation l'eau doit être aérée et ne doit contenir que peu de sels dissous et pas de matières organiques en

quantité appréciable ; l'eau qui contient une proportion un peu forte de sels calcaires rend la digestion difficile, et celle qui renferme des substances organiques a des propriétés septiques qui en rendent l'emploi dangereux.

Les eaux naturelles contiennent quelquefois assez de substances en dissolution pour qu'on puisse les utiliser en médecine : on les nomme alors eaux minérales.

**Eau oxygénée ou bioxyde d'hydrogène**  $\left. \begin{matrix} \text{H} \\ \text{H} \end{matrix} \right\} \text{O}^2 = \text{H}-\text{O}-\text{O}-\text{H}$ .

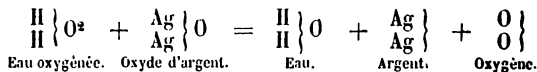
L'eau oxygénée s'obtient par la réaction de l'acide chlorhydrique sur le bioxyde de bariun.



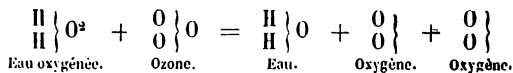
L'eau oxygénée est très-instable, elle se décompose en eau et en oxygène sous l'influence de la chaleur ; même à la température ordinaire elle se dissocie partiellement en eau et oxygène, car elle n'est stable qu'en présence d'une certaine proportion de ses produits de décomposition. L'eau oxygénée donne lieu à trois ordres de réactions curieuses.

Certains corps la décomposent en oxygène et en eau par action catalytique, sans prendre eux-mêmes part à la réaction ; tels sont l'argent métallique en poudre, le platine en poudre, etc.

D'autres corps décomposent encore l'eau oxygénée, mais s'oxydent à ses dépens. Tels sont l'oxyde de strontium, l'acide chromique, etc. ; enfin, une troisième classe de corps, en tête desquels il faut citer l'oxyde d'argent, ont la propriété de perdre leur oxygène sous l'influence de l'eau oxygénée, pendant que cette dernière se réduit également.



L'action de l'ozone sur l'eau oxygénée est tout à fait analogue ; il se forme de l'eau et il se dégage de l'oxygène :



On peut expliquer ces dernières réactions en admettant que les

atomes d'oxygène qui abandonnent l'argent ou l'ozone et l'eau oxygénée ont plus d'affinité l'un pour l'autre que pour les corps auxquels ils étaient unis, et que par suite ils se séparent de ces derniers et s'unissent entre eux pour former une molécule d'oxygène libre. M. Schænbein admet même que ces atomes d'oxygène sont l'un et l'autre électrisés, mais en sens contraire, s'il en était ainsi, on concevrait une eau oxygénée électrisée inversement de celle que nous connaissons. Rien jusqu'à présent n'est venu justifier cette hypothèse.

#### COMBINAISONS DE L'OXYGÈNE AVEC LE CHLORE.

Il existe plusieurs composés oxygénés du chlore. Ce sont : l'anhydride hypochloreux  $\text{Cl}^{\circ}\text{O}$ , l'anhydride chloreux  $\text{Cl}^{\circ}\text{O}^2$ , le peroxyde de chlore  $\text{ClO}^2$ , l'acide chlorique  $\text{ClHO}^3$ , et l'acide perchlorique  $\text{ClHO}^4$ .

En outre, il paraît exister un oxyde de chlore  $\text{ClO}$  qui n'est pas connu avec certitude.

**Anhydride hypochloreux.**  $\text{Cl}^{\circ}\text{O} = \left. \begin{matrix} \text{Cl} \\ \text{Cl} \end{matrix} \right\} \text{O}$ . On prépare l'anhydride hypochloreux en faisant passer un courant de chlore bien

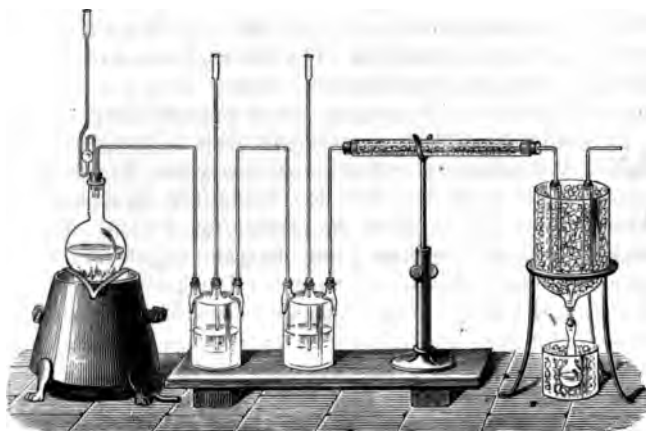
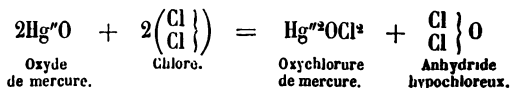


Fig. 25.

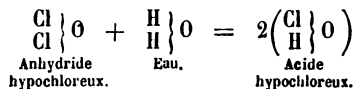
sec sur de l'oxyde de mercure obtenu en précipitant un sel mercurique par la potasse, et placé dans un long tube de verre

(fig. 25). L'anhydride hypochloreux qui se dégage pendant cette réaction est recueilli dans un ballon placé au milieu d'un mélange réfrigérant où il se liquéfie. Il faut avoir soin pendant l'opération de refroidir le tube qui renferme l'oxyde de mercure.

L'équation suivante rend compte de cette réaction :



L'anhydride hypochloreux constitue un liquide rouge vermillon qui bout à  $-20^{\circ}$ ; sa densité de vapeur est 2,997. Il a une odeur qui rappelle celle du chlore et de l'iode, l'eau en dissout 200 fois son volume. Dans ce cas, il fixe les éléments de l'eau et se convertit en acide hypochloreux  $\text{ClOH}$ , d'après l'équation :



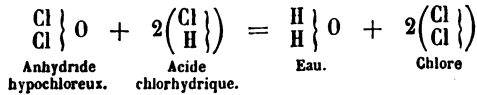
Mais cette transformation n'est pas complète, l'acide hypochloreux se dissociant facilement en anhydride et en eau et ne pouvant exister qu'en présence d'un excès d'eau. En effet, l'équation donnée plus haut exigerait qu'un kilogramme d'eau pût dissoudre 4833 grammes de gaz hypochloreux, tandis que la quantité dissoute en poids est seulement de 779 grammes. L'eau chargée à saturation d'anhydride hypochloreux constitue donc une solution aqueuse d'acide hypochloreux et non cet acide lui-même.

La solution d'anhydride hypochloreux jouit de propriétés oxydantes et décolorantes extrêmement énergiques. Gay-Lussac a même observé qu'un demi-litre de cet anhydride décolore autant d'indigo qu'un litre de chlore pur. Comme un demi-litre d'anhydride hypochloreux renferme  $\frac{1}{2}$  litre de chlore et  $\frac{1}{4}$  de litre d'oxygène, et comme d'ailleurs, il n'y a pas de raison pour que le chlore, devenu libre par la décomposition de l'anhydride hypochloreux, décolore plus que s'il n'avait pas été engagé dans cette combinaison, il faut conclure de ce fait qu'un quart de litre d'oxygène naissant décolore autant qu'un demi-litre de chlore, ou, en d'autres termes, que le pouvoir décolorant de l'oxygène naissant est double de celui du chlore. Ce fait s'explique facilement si nous nous rappelons que l'oxygène est un élément diatomique.

L'anhydride hypochloreux se décompose facilement sous l'in-



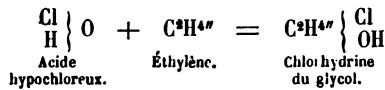
fluence de l'acide chorhydrique, il se forme dans ce cas de l'eau et du chlore libre.



Lorsqu'il est gazeux, il fait facilement explosion sous l'influence d'une faible élévation de température.

Quand on ne tient pas à avoir l'anhydride hypochloreux sec, on peut l'obtenir très-facilement en solution en versant de l'oxyde de mercure délayé dans l'eau, dans un grand flacon plein de chlore et en agitant fortement.

L'acide hypochloreux se fixe directement sur les substances organiques non saturées ; ainsi avec l'éthylène on a la réaction exprimée par l'équation suivante :

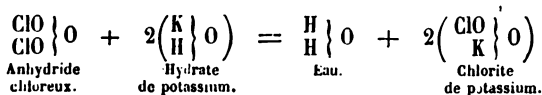


**Anhydride chloreux**  $\text{Cl}^2\text{O}^3 = \begin{array}{l} \text{Cl} - \text{O} \\ \text{Cl} - \text{O} \end{array} \text{O}$ . Pour préparer ce corps, on fait un mélange de trois parties d'anhydride arsénieux et de quatre parties de chlorate de potassium. On pulvérise le tout, on mêle la masse pulvérisée avec assez d'eau pour en faire une pâte liquide, et l'on y ajoute 12 parties d'acide azotique étendu de quatre parties d'eau. On remplit un petit ballon jusqu'au col avec ce mélange, on y adapte un tube de dégagement et on le chauffe au bain-marie après l'avoir enveloppé avec un linge pour éviter tout accident en cas d'explosion.

Il se dégage dans ces conditions un gaz jaune verdâtre, très-décolorant, d'une densité de 2,646, et qui résiste à la température de  $\sim 20^\circ$  sans se liquéfier.

Le gaz chloreux se dissout dans l'eau en donnant un liquide d'un beau jaune.

Au contact des bases, il donne des chlorites :

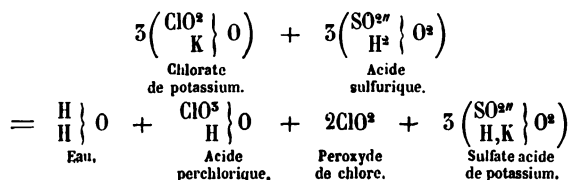


L'anhydride chloreux détone sous l'influence d'une faible élévation

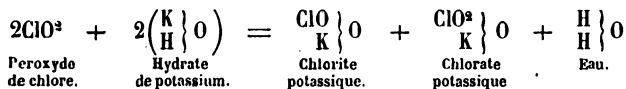


tube de dégagement, on conduit dans un récipient fortement refroidi le gaz qui se forme. Il faut avoir soin que l'eau du bain-marie soit plus basse que le niveau du mélange dans le tube. Il est aussi très-prudent de refroidir pendant qu'on opère le mélange.

La réaction peut être exprimée par l'équation suivante :



Le peroxyde de chlore est gazeux à la température ordinaire, il se liquéfie à  $-20^{\circ}$  en formant un liquide rouge; c'est un corps fort explosible, sa densité à l'état gazeux est 2,315; il est soluble dans l'eau, le mercure le décompose avec facilité; les bases le transforment en un mélange de chlorate et de chlorite.



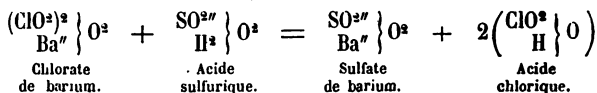
Cette réaction établit une analogie entre le peroxyde de chlore et l'hypoazotide  $\text{AzO}^{\text{a}}$ , qui se convertit aussi en un mélange d'azotate et d'azotite sous l'influence des bases (voir azote); on pourrait par suite le nommer *hypochloride*.

**Acide chlorique**  $\text{ClHO}^{\text{a}} = \text{Cl}-\text{O}-\text{O}-\text{O}$  II. Pour préparer cet acide dont l'anhydride n'est pas stable, on traite une solution concentrée de chlorate potassique par l'acide hydrofluosilicique. Une double décomposition a lieu, de l'acide chlorique devient libre, et le potassium se précipite à l'état d'hydrofluosilicate. Malheureusement ce précipité est à peine visible, ce qui oblige à mettre un excès d'acide hydrofluosilicique, parce qu'on ne peut distinguer le moment précis où la précipitation est complète.

La liqueur renferme donc un mélange d'acides chlorique et hydrofluosilicique, on la filtre et l'on y ajoute de l'hydrate de baryum qui transforme les deux acides en sel barytique. L'hydrofluosilicate de baryum ainsi formé étant insoluble se précipite, et le chlorate barytique reste en dissolution. On filtre et l'on décompose le chlorate de baryum par l'acide sulfurique. Cet acide doit être versé goutte à

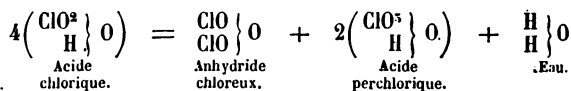
goutte, et il faut s'arrêter dès qu'une dernière goutte ne produit plus de précipité. On filtre alors sur de l'amianté, et l'on concentre la liqueur à la température ordinaire, dans le vide de la machine pneumatique.

L'équation suivante rend compte de l'action de l'acide sulfurique sur le chlorate de baryum.

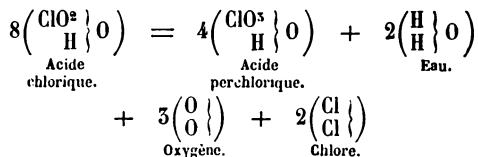


L'acide chlorique est un liquide sirupeux, jaune à cause du chlore qu'il tient toujours en dissolution, et qui provient de sa décomposition. A 40° il se décompose en acide perchlorique et en anhydride chloreux; à l'ébullition, la décomposition est plus complète; il se forme de l'acide perchlorique en même temps que du chlore et de l'oxygène se dégagent.

*Premier mode de décomposition.*



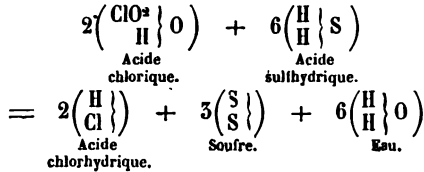
*Deuxième mode de décomposition.*



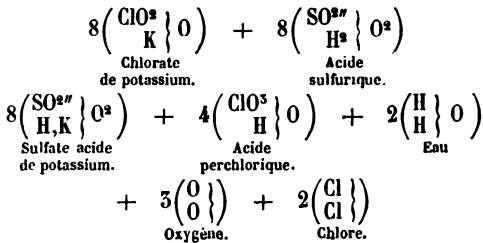
L'acide chlorique mis en présence de la teinture de tournesol la rougit d'abord à la manière des acides, mais bientôt il la décolore en l'oxydant.

C'est un corps fort instable, il doit à cette instabilité d'être un oxydant énergique. L'instabilité de l'acide chlorique est telle que si l'on en chauffe une goutte sur un morceau de papier à une très-douce chaleur, le papier s'enflamme et brûle en déflagrant. L'alcool prend feu au contact de cet acide. L'acide sulfhydrique le réduit à l'état d'acide chlorhydrique en même temps que du soufre se dé-

En un mot, tous les corps avides d'oxygène en opèrent imposition.



**le perchlorique**  $\text{ClHO}^{\text{a}} = \text{Cl}-\text{O}-\text{O}-\text{O}-\text{O}-\text{H}$ . Pour préparer ce corps, on distille une partie de chlorate de potassium avec deux parties d'acide sulfurique, jusqu'à ce que les gouttes qui tombent ne se solidifient plus dans le récipient, on obtient ainsi du chlorate acide de potassium et de l'acide perchlorique uni à de l'eau par cristallisation.



Les cristaux d'acide perchlorique hydraté chauffés à 110° dans une cloche, donnent des vapeurs blanches exhalant une forte odeur d'acide chlorhydrique, qui se condensent dans le récipient en un liquide mobile qui jaunâtre. Ce liquide peut être obtenu incolore par une nouvelle rectification faite avec lenteur et précaution.

Si on continuait la distillation jusqu'à ce que toute la matière condensée, la température s'élèverait jusqu'à 200°, et il distillerait un liquide oléagineux qui, mêlé au liquide mobile, le transformerait de nouveau en cristaux.

Le liquide mobile volatil à 110° est l'acide perchlorique normal. Comme il attire très-fortement l'humidité atmosphérique et fait facilement explosion, on doit le conserver dans des ampoules fermées.

L'acide perchlorique normal a une densité de 1,782 à 15°,5. Sa couleur est incolore et transparente; mêlée à l'air, elle donne des

fumées blanches épaisses parce qu'elle se combine à la vapeur d'eau que l'air renferme.

Versé dans l'eau goutte à goutte, l'acide perchlorique produit un sifflement, en même temps le liquide s'échauffe. Une goutte d'acide perchlorique versée sur du papier ou du bois, produit immédiatement une explosion avec dégagement de lumière. L'action du charbon de bois est plus violente encore, et donne lieu à une détonation comparable à celle du chlorure d'azote.

L'acide perchlorique normal fait explosion lorsqu'on le mêle avec de l'éther anhydre. Avec l'alcool, au contraire, le mélange se fait tranquillement, la masse s'échauffe et il distille de l'éther.

Versé sur la peau, l'acide perchlorique y fait naître des ulcères douloureux qui ne guérissent qu'au bout de quelques mois.

Lorsqu'on chauffe l'acide perchlorique, il se décompose, et comme l'eau provenant de sa décomposition s'unit à la partie encore intacte de cet acide pour donner la matière cristallisée dont nous avons déjà parlé, le liquide devient opaque. En continuant à élever la température, on observe quelquefois de violentes explosions; le liquide restant se prend en cristaux par le refroidissement. L'acide perchlorique se décompose spontanément, même dans l'obscurité, et les tubes dans lesquels on le renferme font tous explosion au bout de huit ou quinze jours.

Lorsqu'on ajoute de l'eau à l'acide perchlorique normal, le liquide s'échauffe, et si la quantité d'eau est convenable, la masse cristallise en se refroidissant. Les cristaux ainsi obtenus qui avaient été pris jusqu'ici pour de l'anhydride perchlorique ne sont autres que l'acide normal combiné à une molécule d'eau. Leur formule est  $\text{ClHO}^4 + \text{H}^2\text{O}$ . Ces cristaux tombent en déliquescence à l'air. Ils fondent à  $50^\circ$ . Leur densité lorsqu'ils sont fondus est de 1,814.

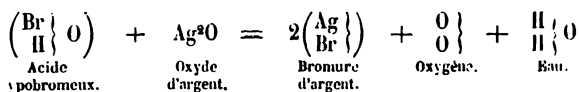
Lorsqu'on chauffe plus fortement ces cristaux, ils dégagent de l'acide perchlorique normal, et il reste dans la cornue un hydrate plus riche en eau. Si l'on continue à distiller, lorsque l'acide normal a passé et que l'on change de récipient vers  $203^\circ$ , il passe un liquide oléagineux d'une composition constante, qui ressemble fort à l'acide sulfurique; cet acide renferme 71,6 pour cent d'acide  $\text{ClHO}^4$ , et paraît répondre à la formule  $(\text{ClHO}^4)^5 + 11\text{H}^2\text{O}$ . La formule plus simple  $\text{ClHO}^4 + 2\text{H}^2\text{O}$  exigerait, en effet, 73,63 p. cent d'acide normal au lieu de 71,6. Le perchlorate potassique étant fort

soluble dans l'eau, l'acide perchlorique fait naître un précipité  
 les solutions des sels potassiques.  
 l'hydride perchlorique est inconnu.

## COMBINAISONS OXYGÉNÉES DU BROME.

combinaisons oxygénées du brome actuellement connues  
 l'acide hypobromeux  $\text{BrHO}$ , l'acide bromique  $\text{BrHO}^3$  et l'acide  
 omique  $\text{BrHO}^4$ .

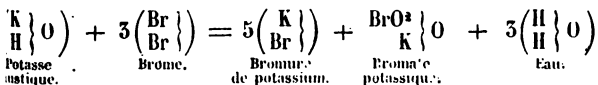
**Acide hypobromeux**  $\left. \begin{matrix} \text{Br} \\ \text{H} \end{matrix} \right\} \text{O}$ . Lorsqu'on verse du brome dans  
 solution aqueuse d'azotate d'argent, il se forme un précipité de  
 ure d'argent, et la liqueur qui surnage ce précipité possède  
 propriétés décolorantes. Si on cherche à distiller cette liqueur  
 la pression ordinaire de l'atmosphère, elle se décompose en  
 nt du brome en liberté; mais si on la distille dans le vide,  
 onne un liquide mobile qui décolore les substances organi-  
 On obtient encore le même composé en agitant du brome  
 de l'eau avec de l'oxyde d'argent. Toutefois si l'oxyde d'ar-  
 était en excès, et si l'on agitait trop longtemps, il se dégagé-  
 e l'oxygène, du bromure d'argent prendrait naissance, et la  
 ur ne posséderait plus de propriétés décolorantes.



affinité de l'oxygène pour lui-même s'ajoute à celle de l'argent  
 le brome, et ce sont deux forces réunies qui déterminent  
 double décomposition.

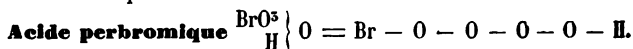
corps dissous dans la liqueur décolorante dont nous venons  
 liquer la préparation est l'acide hypobromeux  $\text{BrHO}$ ; on ne  
 as encore préparé à l'état de pureté. On ne connaît pas da-  
 ge son anhydride  $\text{Br}^2\text{O}$ .

**Acide bromique**  $\left. \begin{matrix} \text{BrO}^2 \\ \text{H} \end{matrix} \right\} \text{O} = \text{Br}-\text{O}-\text{O}-\text{O}-\text{H}$ . Lorsqu'on fait  
 le brome sur une solution concentrée de potasse, il se forme  
 mélange de bromure et de bromate potassiques. Le bromate  
 est extrêmement peu soluble se précipite.

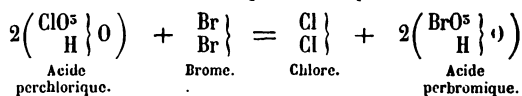


On prépare l'acide bromique à l'aide du bromate de potassium par le même procédé que l'acide chlorique au moyen du chlorate de potassium.

L'acide bromique présente des propriétés tout à fait semblables à celles de l'acide chlorique. Il est toutefois un peu plus stable que ce dernier acide et peut être porté à la température de 40° sans se décomposer.



M. Kaemmerer a obtenu cet acide en traitant l'acide perchlorique par le brome. Le chlore est simplement déplacé.



Évaporée au bain-marie, la dissolution de l'acide perbromique prend l'apparence d'une masse sirupeuse sur laquelle l'acide sulfhydrique, l'acide chlorhydrique et l'anhydride sulfureux sont sans action.

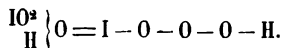
Comme l'acide perchlorique, l'acide perbromique précipite en blanc les sels potassiques. Toutefois le perbromate de potassium est un peu plus soluble que le perchlorate correspondant.

#### COMBINAISONS OXYGÉNÉES DE L'IODE.

On connaît vaguement les hypo-iodites  $\left. \begin{array}{c} \text{I} \\ \text{M}' \end{array} \right\} \text{O}$ . Mais il existe un anhydride iodique  $\text{I}^2\text{O}^5$  auquel correspond un acide  $\text{IO}^3\text{H}$ ; et un acide periodique  $\text{IO}^4\text{H}$ .

**Hypo-iodites**  $\left. \begin{array}{c} \text{I} \\ \text{M}' \end{array} \right\} \text{O}$ . Ces sels n'ont été qu'entrevus, ils paraissent se former lorsqu'on dissout le chlorure d'iode  $\text{ICl}^3$  dans un carbonate alcalin ou dans un alcali caustique, mais ils ne sont stables qu'en présence d'une molécule d'iode; enlève-t-on celle-ci, ils se décomposent aussitôt.

**Anhydride iodique**  $\text{I}^2\text{O}^5$  et **acide iodique**

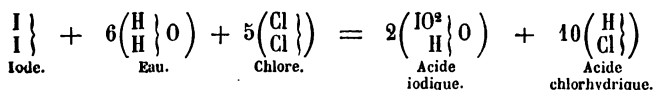


En faisant bouillir une partie d'iode dans cinq parties d'acide azotique fumant, et laissant refroidir la liqueur lorsque l'iode a



entièrement disparu, on obtient de l'acide iodique cristallisé en petits mamelons.

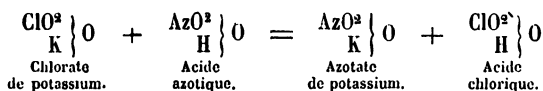
On peut encore faire passer du chlore à travers de l'eau tenant de l'iode en suspension, évaporer lorsque l'iode est dissous et faire cristalliser.



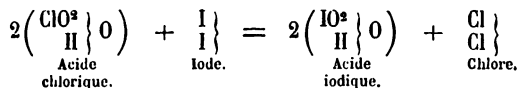
Enfin, on peut précipiter une solution bouillante d'iodate de potassium par du chlorure de baryum, et décomposer ensuite l'iodate barytique par l'acide sulfurique.

Quant à l'iodate potassique, on peut l'obtenir comme le bromate correspondant. Mais il est plus simple de le préparer en faisant bouillir un mélange de 75 grammes de chlorate de potassium, de 80 grammes d'iode et 1 gramme d'acide azotique dans 400 grammes d'eau, jusqu'à ce que le dégagement de chlore ait cessé.

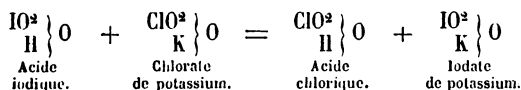
Dans cette réaction, l'acide azotique met d'abord en liberté un peu d'acide chlorique.



L'iode en réagissant sur cet acide en chasse le chlore et le transforme en acide iodique



L'acide iodique réagit sur une nouvelle portion de chlorate potassique, et produit de l'iodate de potassium et de l'acide chlorique.

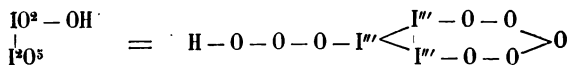


L'iode transforme cette seconde quantité d'acide chlorique en acide iodique comme il avait fait pour la première, et cette série de doubles décompositions se continue jusqu'à ce que la totalité du chlorate de potassium ait été transformée en iodate.

Lorsqu'on a préparé l'acide iodique, si on le fait se déposer à froid d'une solution concentrée, on obtient des cristaux qui présentent la composition  $\left. \begin{matrix} \text{IO}^3 \\ \text{H} \end{matrix} \right\} \text{O}$ . En dissolvant ces cristaux dans l'acide sulfurique étendu de quatre molécules d'eau, on obtient une liqueur qui abandonne un produit blanc répondant à la formule d'un anhydride  $\text{I}^3\text{O}^5\text{H} = 3\text{IO}^3\text{H} - \text{H}^2\text{O}$ .

L'acide iodique maintenu à 130° jusqu'à ce qu'il ne perde plus de poids, se transforme dans le même anhydride  $\text{I}^3\text{O}^5\text{H}$ .

Cet anhydride peut être considéré comme une combinaison d'acide iodique et d'anhydride iodique normal soudés par l'iode triatomique.

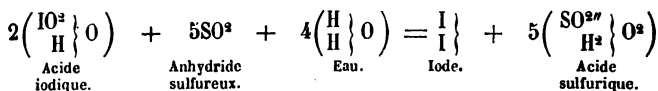


Chauffé à 170°, l'acide iodique se transforme en anhydride iodique  $\text{I}^3\text{O}^5$ .

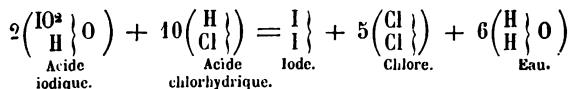
L'alcool anhydre ne dissout ni l'acide iodique ni ses anhydrides.

L'acide iodique se combine aux acides azotique, phosphorique, borique et sulfurique en donnant des composés cristallins.

L'acide iodique est soluble dans l'eau, rougit le tournesol et le décolore au bout de quelque temps; chauffé à une température inférieure au rouge, il se décompose en iode et oxygène sans donner d'acide per-iodique. C'est un corps oxydant; traité par l'acide sulfhydrique ou l'anhydride sulfureux, il est décomposé et donne un dépôt d'iode.



L'acide chlorhydrique décompose immédiatement l'acide iodique en dégageant du chlore.



**Acide per-iodique  $\text{IO}^6\text{H}^5$ .** L'acide per-iodique peut être préparé comme l'acide perbromique, c'est-à-dire en faisant agir l'iode

sur l'acide perchlorique. On peut aussi l'obtenir par le procédé suivant :

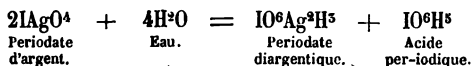
On fait passer un courant de chlore à travers une dissolution d'iodate de sodium renfermant un excès d'alcali : il se précipite ainsi un periodate sodique insoluble.

Ce précipité dissous dans l'acide azotique, donne avec l'azotate d'argent un précipité blanc de periodate diargentique dont la formule est



Ce sel se dissout dans l'acide azotique bouillant et, par le refroidissement, la liqueur donne des cristaux qui ont pour formule  $\text{IAgO}^4$ .

Ces cristaux traités par l'eau froide, régénèrent le per-iodate diargentique  $\text{IO}^6\text{Ag}^2\text{H}^3$  insoluble, en même temps qu'il se forme de l'acide per-iodique libre qui se dissout.

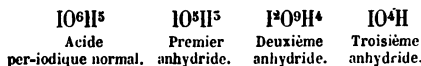


L'acide per-iodique  $\text{IO}^6\text{H}^5$  forme des prismes rhomboïdaux, incolores; très-solubles dans l'eau. C'est un acide pentabasique, qui forme de nombreux sels; les sels penta-argentique, pentabarytiques, etc. sont importants pour sa constitution.

L'acide per-iodique  $\text{IO}^6\text{H}^5$  fond à 130°. Vers 200° il perd de l'eau et de l'oxygène et se transforme en acide iodique. L'acide sulfhydrique et l'anhydride sulfureux le détruisent facilement.

L'acide per-iodique donne avec les sels de sodium un précipité de periodate disodique.

Il existe plusieurs anhydrides de cet acide, qu'on n'a pas encore préparés à l'état libre, mais dont on a parfaitement étudié les sels correspondants. Ces anhydrides peuvent être représentés par les formules



Il faut admettre que l'iode joue le rôle d'élément pentatomique dans l'acide per-iodique normal.

## SOUFRE

Poids atomique = 32    Poids moléculaire = 64

Le soufre se retire de certains terrains volcaniques où il existe à l'état naissant. Il nous vient de Sicile. Il y en a des mines ailleurs, mais elles ne sont pas exploitées.

On prépare aussi du soufre, en distillant la pyrite (bisulfure de fer)  $\text{FeS}_2$ , qui cède la moitié de son soufre lorsqu'on la chauffe.

En Sicile, on sépare le soufre de la terre, soit en le fondant, si le minerai est assez riche, soit en le distillant si le minerai est pauvre. En France, on raffine le soufre par une seconde distillation. Cette distillation s'exécute dans une chaudière qui communique avec une grande chambre en maçonnerie. La chaudière est disposée de manière qu'on puisse y introduire de nouvelles quantités de soufre sans arrêter l'opération. Si l'on opère avec assez de rapidité pour distiller 1800 kilogrammes de soufre en vingt-quatre heures, les parois de la chambre s'échauffent suffisamment pour que le soufre y conserve l'état liquide. En le retirant on le coule dans des moules de bois et on le livre au commerce sous la forme de bâtons. Si, au contraire, on conduit l'opération avec assez de lenteur pour que le poids de soufre distillé en vingt-quatre heures ne dépasse pas 300 kilog., ce métalloïde se solidifie dans la chambre même, et comme l'air s'interpose entre ses molécules au moment de la solidification, il se condense sous la forme d'une poussière fort tenue connue sous le nom de fleur de soufre.

Le soufre est jaune, solide à la température ordinaire, fusible à  $114^\circ$ , et volatil à  $440^\circ$ . Il ne présente ni odeur ni saveur ; sa densité est égale à 2,08, sa densité de vapeur est représentée par le nombre 6,666 à  $500^\circ$ , et par le nombre 2,222 à  $1000^\circ$ .

L'eau ne dissout pas le soufre ; l'alcool et l'éther le dissolvent peu ; son vrai dissolvant est le sulfure de carbone.

Par évaporation de sa solution dans le sulfure de carbone, on obtient le soufre cristallisé en octaèdres du quatrième système ; c'est sous cette forme qu'on le trouve dans la nature. Par voie de fusion il cristallise en prismes du cinquième système.

À la température ordinaire les cristaux prismatiques tombent en poussière, et cette poussière apparaît au microscope comme formée

de petits octaédres. Aux environs de  $114^{\circ}$  le contraire a lieu ; ce sont les cristaux octaédriques qui deviennent prismatiques. Ces deux faits démontrent que les différences de formes cristallines qu'on remarque dans le soufre tiennent à la température où la cristallisation s'est opérée.

Nous avons dit que le soufre fond à  $114^{\circ}$  ; il constitue alors un liquide jaune et très-fluide ; à  $140^{\circ}$  sa couleur se fonce, à  $160^{\circ}$  il devient brun et visqueux, à  $230^{\circ}$  sa viscosité est telle qu'on peut retourner le vase qui le contient sans qu'il coule ; au-dessus de  $230^{\circ}$  il reprend sa fluidité, mais conserve sa couleur brune jusqu'à  $440^{\circ}$ , où il entre en ébullition.

Si l'on refroidit brusquement du soufre chauffé à une température voisine de celle où il bout, ce métalloïde reste mou après complet refroidissement. Le soufre mou reprend, du reste, peu à peu sa consistance, et on peut la lui rendre d'une manière immédiate en le chauffant à  $96^{\circ}$  environ. M. Regnault, à qui l'on doit la connaissance de ce fait, a de plus constaté que le passage du soufre de l'état mou à l'état dur, s'accompagne toujours d'un dégagement de thaleur.

Le soufre est combustible, il brûle à l'air avec une flamme bleuâtre en répandant l'odeur de l'anhydride sulfureux, odeur connue de tout le monde.

Il se combine aussi très-facilement au chlore, et il a une affinité telle pour le phosphore qu'à moins d'opérer sous l'eau, on ne peut chauffer un mélange de ces deux corps sans avoir à redouter une explosion.

Presque tous les métaux, le carbone, et en général les corps avides d'oxygène ont de l'affinité pour le soufre. Il faut noter cependant que l'hydrogène ne se combine que difficilement avec ce métalloïde.

Lorsqu'on chauffe le soufre à une haute température, et qu'on le refroidit brusquement, nous avons vu qu'il reste mou. Si on le trempe ainsi sept fois de suite, il acquiert une couleur brune qu'il conserve même à l'état solide. Traité par le sulfure de carbone, il laisse alors un résidu rougeâtre qui n'est autre que du soufre sous un état allotropique particulier. Ainsi modifié le soufre est insoluble dans tous les dissolvants. Il revient à l'état ordinaire lorsqu'on le chauffe à  $100^{\circ}$ , ou qu'on le met en contact avec l'acide sulfhydrique, ou les sulfures alcalins. Il acquiert, au contraire, une stabilité

plus grande lorsqu'on fait agir sur lui le chlorure de soufre.

En décomposant le chlorure de soufre par l'eau on obtient le même soufre insoluble, mais sous une modification plus stable. Lorsqu'on décompose les polysulfures par les acides on obtient, au contraire, du soufre soluble et cristallisable. M. Berthelot avait cru pouvoir induire de ces faits que le soufre entre à l'état amorphe dans les composés où il est électro-positif, et à l'état cristallisable dans les composés où il est électro-négatif. Mais M. Cloëz a fait voir que d'un même composé, le chlorure de soufre par exemple, on peut retirer, au moyen de l'eau, soit du soufre soluble, soit du soufre insoluble, selon la rapidité de la réaction. Cette expérience, et quelques autres également fort importantes que l'on doit à cet habile chimiste, ont ruiné l'opinion précédente.

M. Berthelot pense que lorsque le soufre fondu est chauffé à 440°, il est modifié en totalité, et que si, par la trempe, on n'obtient jamais tout le soufre à l'état insoluble, cela tient à une modification inverse qui se produit pendant le refroidissement. De fait il a remarqué : 1° que plus le refroidissement est brusque, plus la proportion de soufre insoluble qu'on obtient est considérable; 2° qu'en mêlant à l'eau certains corps comme l'acide azotique, qui ont la propriété de rendre stable le soufre insoluble, on n'obtient presque plus de soufre cristallisable.

Le soufre chauffé à 440° étant d'après cela, dans sa modification insoluble, il est probable qu'à 500°, c'est-à-dire à une température voisine de 440°, il existe au même état; comme à 500° la densité de vapeur du soufre est 6,666, ce qui donne 192 pour poids moléculaire de ce corps et  $\frac{S^3}{S_3}$  } pour sa formule, on peut admettre qu'il existe deux variétés de soufre : le soufre cristallisable, dont le poids moléculaire est 64, et qui répond à la formule  $\frac{S}{S}$  }, et le soufre insoluble, dont le poids moléculaire est 192, et qui répond à la formule  $\frac{S^3}{S_3}$  }.

Le soufre est employé en médecine, soit à l'état métalloïdique, soit à l'état de combinaison. Il est parasiticide, et c'est même là sa propriété la plus utilisée. On se sert aussi de quelques sulfures solubles pour exciter les fonctions de la peau.

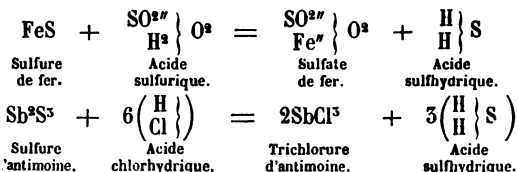
Le soufre dont on fait usage en pharmacie est ordinairement la

de soufre, que l'on a soin de laver pour la débarrasser de l'anhydride sulfureux et de l'acide sulfurique dont elle est toujours

COMBINAISONS DU SOUFRE AVEC LES MÉTALLOÏDES  
PRÉCÉDEMMENT ÉTUDIÉS.

COMBINAISONS DU SOUFRE AVEC LES MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES.

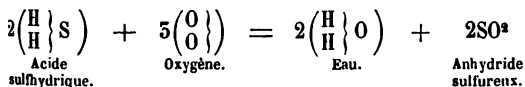
**Acide sulfhydrique**  $\left. \begin{matrix} \text{H} \\ \text{H} \end{matrix} \right\} \text{S}$  (HYDROGÈNE SULFURÉ). L'acide sulfhydrique se forme directement lorsqu'on fait passer de l'hydrogène sur du soufre bouillant, ou qu'on soumet les deux éléments à l'action de l'étincelle électrique. Mais pour le préparer, on fait étendre l'acide sulfurique ou l'acide chlorhydrique étendus sur le sulfure de fer, ou l'on traite à chaud le sulfure d'antimoine par l'acide chlorhydrique.



l'acide sulfhydrique est gazeux à la température ordinaire. Une pression de 17 à 18 atmosphères suffit pour le liquéfier. Sa densité de gaz, est 1,1912, et à l'état liquide de 0,9 ; l'eau en environ trois fois son volume.

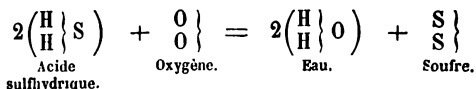
l'acide sulfhydrique est un acide faible qui colore à peine en solution la teinture de tournesol.

Il brûle à l'air avec une flamme peu éclairante et donne naissance à l'eau et à l'anhydride sulfureux.

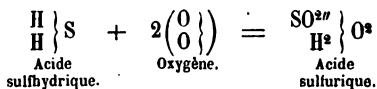


Exposé à l'air, la solution aqueuse de l'hydrogène sulfuré se

décompose. Le soufre est déplacé par l'oxygène, et se dépose en flocons blancs.



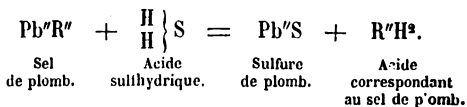
Au contact des corps poreux, cette même solution absorbe de l'oxygène et donne de l'acide sulfurique.



On a observé que les étoffes trempées dans les solutions d'acide sulfhydrique finissent par tomber en lambeaux. C'est à l'action corrosive de l'acide sulfurique qui prend naissance que l'on doit attribuer cet effet.

L'hydrogène sulfuré est décomposé par le chlore, le brome et l'iode avec dépôt de soufre et formation d'un composé hydrogéné du métalloïde employé.

L'acide sulfhydrique précipite en noir les sels de plomb solubles ; il se produit du sulfure de ce métal et un acide correspondant au sel employé.



L'acide sulfhydrique a une odeur d'œuf pourri très-désagréable. Il est fort vénéneux lorsqu'on le respire, mais on peut boire sans danger de grandes quantités de sa solution dans l'eau. On ne l'emploie guère en médecine, à moins que ce ne soit comme élément de certaines eaux minérales.

On analyse l'hydrogène sulfuré par un moyen analogue à celui qu'on emploie pour analyser l'acide chlorhydrique. Toutefois, au lieu de sodium, on place un morceau d'étain dans la cloche courbe. Le sodium, en effet, ne se substituerait qu'à la moitié de l'hydrogène de cet acide.

On reconnaît ainsi que l'hydrogène sulfuré renferme un volume d'hydrogène égal au sien.



Or, si de la densité de l'acide sulfhydrique. . . . .	1,1912
On retranche la densité de l'hydrogène. . . . .	0,0693
	1,1219

qui est sensiblement égal à la demi-densité de la vapeur de soufre à 1000°. Deux volumes d'acide sulfhydrique renferment, par conséquent, un volume de vapeur de soufre, et deux volumes d'hydrogène condensés en deux volumes.

De cette composition en volumes on peut passer à la composition en poids ; on a, en effet :

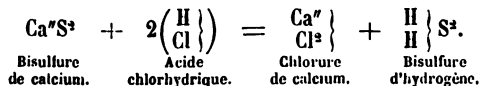
$$1^\circ \quad 1,1912 : 0,0693 :: 100 : x, \quad \text{d'où} \quad x = \frac{6,95}{1,1912} = 5,81$$

$$2^\circ \quad 1,1912 : 1,1219 :: 100 : x, \quad \text{d'où} \quad x = \frac{112,19}{1,1912} = 94,19$$

100 parties d'acide sulfhydrique contiennent donc :

Soufre . . . . .	94,19
Hydrogène. . . . .	5,81
	100,00

**Bisulfure d'hydrogène**  $\left. \begin{matrix} \text{H} \\ \text{H} \end{matrix} \right\} \text{S}^2$ . Le bisulfure d'hydrogène s'obtient en versant goutte à goutte une solution de bisulfure de calcium dans de l'acide chlorhydrique.



Si l'on renversait l'opération, c'est-à-dire si l'on faisait tomber l'acide chlorhydrique dans la solution du bisulfure de calcium, le bisulfure d'hydrogène se trouvant, au moment de sa formation, en contact avec un excès de sulfure de calcium, se décomposerait, et l'on n'obtiendrait que de l'acide sulfhydrique et du soufre. Le bisulfure d'hydrogène forme une huile jaunâtre, d'une odeur désagréable qui se décompose vers 70° en soufre et hydrogène sulfuré. D'après les recherches de M. Hofmann, le persulfure d'hydrogène serait un trisulfure et aurait pour formule  $\text{H}^2\text{S}^3$ . Théoriquement le bi et trisulfure peuvent exister et il se pourrait qu'on obtint, suivant les conditions de l'expérience, l'une ou l'autre combinaison.

**Chlorures de soufre.** — On en connaît trois, correspondant aux formules



Lorsqu'on fait arriver du chlore sec sur du soufre chauffé dans une cornue, il se condense dans le récipient un liquide jaune d'une odeur fétide très-désagréable et fumant à l'air. Ce liquide soumis à la distillation passe à 139° et renferme  $S^2Cl^2$  (nommé autrefois sous-chlorure). Pour obtenir ce composé il est nécessaire de maintenir le soufre en excès; si, au contraire, le chlore est en plus grande quantité il se forme un liquide rouge foncé, qu'on obtient plus facilement en faisant passer un courant de chlore sec directement dans le chlorure  $S^2Cl^2$ . Le nouveau corps constitue un liquide rouge, fumant à l'air et laissant constamment dégager du chlore. A la distillation il se décompose; il passe d'abord un liquide rouge, et, à mesure que la température s'élève, la couleur devient de moins en moins foncée et finalement vers 139°, il distille le chlorure jaune  $S^2Cl^2$ . Il se dégage du chlore pendant la distillation. Le liquide rouge renferme  $S^2Cl^4$  et a reçu le nom de perchlorure.

Enfin ce dernier absorbe encore du chlore à très-basse température et paraît alors contenir le tétrachlorure  $SCl^4$ ; seulement ce corps est si peu stable qu'il est partiellement dissocié même à basse température.

Le soufre se combine aussi avec le brome et l'iode, mais ces composés présentent peu d'intérêt.

#### COMBINAISONS DU SOUFRE AVEC L'OXYGÈNE.

Les composés oxygénés du soufre sont les suivants :

Les hydrosulfites  $SO^2M^2$  correspondant à l'acide hydrosulfureux  $SO^{2''}$   $\left\{ \begin{array}{l} H \\ H \end{array} \right.$

L'acide sulfureux  $SO^{2''}$   $\left\{ \begin{array}{l} H \\ OH \end{array} \right.$  et l'anhydride sulfureux  $SO^2$ .

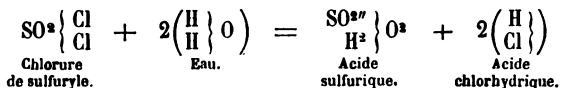
L'acide sulfurique  $SO^{2''}$   $\left\{ \begin{array}{l} OH \\ OH \end{array} \right.$  et l'anhydride sulfurique  $SO^2$  O.

Les hyposulfites  $S^2M^2O^5$  correspondant à l'anhydride hyposulfureux  $SO^2$   $\left\{ \begin{array}{l} S \\ SH \\ OH \end{array} \right.$  tous deux inconnus;





de moitié. Le composé qui prend naissance a pour formule  $\text{SO}^2\text{Cl}^2$ . On l'appelait autrefois acide chlorosulfurique. Aujourd'hui on le nomme chlorure de sulfuryle. Ce dernier nom rappelle la propriété que possède ce chlorure de se changer, en présence de l'eau, en acides chlorhydrique et sulfurique.



L'iode, en agissant sur l'anhydride sulfureux, engendre un composé semblable  $\text{SO}^2\text{I}^2$  qui jouit de propriétés analogues.

Pour déterminer la composition de l'anhydride sulfureux, on fait brûler un excès de soufre dans un volume connu d'oxygène jusqu'à ce que, tout ce dernier gaz étant consommé, la combustion s'arrête.

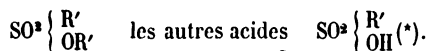
On observe alors que l'anhydride sulfureux qui s'est formé occupe le même volume que l'oxygène qui a servi à la combustion.

Or, si de la densité de l'anhydride sulfureux. . . . .	2,2470
on retranche la densité de l'oxygène. . . . .	1,1056
il reste. . . . .	1,1414

nombre qui représente sensiblement la demi-densité de la vapeur de soufre à 1000°.

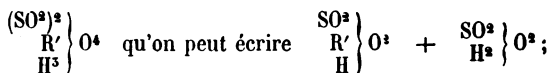
Deux volumes d'anhydride sulfureux contiennent donc deux volumes d'oxygène et un volume de vapeur de soufre combinés avec une contraction de 1/3. A l'aide de cette composition en volume on peut facilement calculer la composition en poids.

L'acide sulfureux forme deux séries de sels ; les uns neutres, de la formule générale



Comme l'acide sulfureux possède une constitution dissymétrique, il doit même exister une autre série de sels acides, isomères, correspondant à la formule  $\text{SO}^2 \left\{ \begin{array}{l} \text{H} \\ \text{OR}' \end{array} \right.$  on ne connaît pas encore de sel métallique de cette constitution, mais on est parvenu à préparer

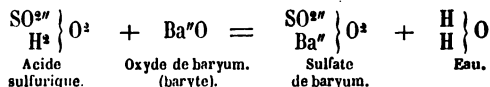
(\*) R' est un radical monatomique positif quelconque.



l'acide sulfurique joue peut-être ici le même rôle que l'eau de cristallisation. Ces composés sont peu étudiés.

Pour analyser l'acide sulfurique on opère comme il suit :

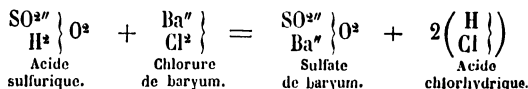
1° On verse un excès d'acide sulfurique sur un poids connu d'oxyde de baryum pur. Il se forme du sulfate de baryum et de l'eau.



On évapore pour chasser l'eau et l'excès d'acide, et l'on pèse le sulfate de baryum. Soit P le poids de ce sel, et p le poids de baryum contenu dans la baryte employée (la composition de la baryte est supposée connue), on connaîtra le poids du baryum contenu dans 100 parties de sulfate de baryum à l'aide de la proportion.

$$P : p :: 100 : x.$$

2° On place dans un petit ballon un poids connu de soufre q avec un excès d'acide azotique, et l'on chauffe le tout en ayant soin de disposer un réfrigérant au-dessus du ballon afin que toutes les vapeurs qui s'y forment se condensent et y refluent continuellement. Quand tout le soufre a disparu, on arrête l'opération et l'on précipite le contenu du ballon par le chlorure de baryum; tout l'acide sulfurique se transforme ainsi en sulfate de baryum insoluble, selon l'équation.



On recueille ce sel sur un filtre, on le lave bien, on le dessèche et on le pèse. Soit P' son poids, et soit p' le poids de baryum qu'il renferme. P'-p' représente le poids du soufre et de l'oxygène réunis. Donc en retranchant le poids du soufre q il reste celui de l'oxygène qui se trouve ainsi déterminé par différence. On reconnaît de cette manière que 100 parties de sulfate de baryum renferment :

Baryum. . . . .	58,79
Soufre. . . . .	13,74
Oxygène. . . . .	27,47
	100,00

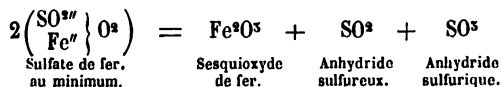
3° On précipite par du chlorure de baryum un poids connu d'acide sulfurique concentré, et l'on pèse le sulfate de baryum produit. A l'aide de ce poids on calcule celui de l'oxygène et du soufre que le sel renferme. Or, comme tout ce soufre et tout cet oxygène se trouvaient dans l'acide sulfurique employé, il suffit de retrancher la somme de leur poids du poids de cet acide pour connaître la quantité d'hydrogène que contenait ce dernier.

Au moyen de trois proportions on transforme ensuite la composition trouvée en composition centésimale.

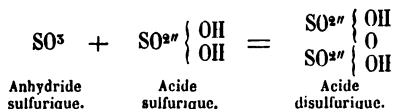
En médecine, on emploie à l'intérieur l'acide sulfurique très-dilué comme hémostatique, et à l'extérieur dans des pédiluves excitants. On utilise aussi cet acide comme caustique.

**Acide sulfurique de Nordhausen**  $\begin{matrix} \text{SO}^{2''} \\ \text{SO}^{2''} \end{matrix} \left\{ \begin{matrix} \text{OH} \\ \text{O} \\ \text{OH} \end{matrix} \right.$  (nouvelle dénomi-

nation : ACIDE DISULFURIQUE). En calcinant en vase clos du sulfate de fer au minimum aussi sec qu'on peut l'obtenir dans une exploitation en grand, il se forme du sesquioxyde de fer, et il se dégage de l'anhydride sulfureux, et de l'anhydride sulfurique combiné avec la petite quantité d'eau que le sel contenait encore.



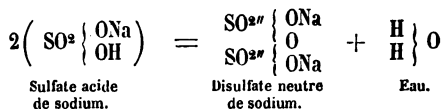
L'anhydride sulfurique, reçu dans des bombonnes pleines d'acide sulfurique ordinaire, se combine avec cet acide en donnant naissance à l'acide disulfurique.



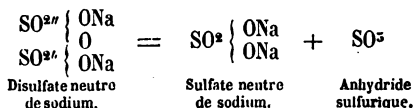
L'acide disulfurique est plus énergique que l'acide sulfurique ordinaire; il fume à l'air, et lorsqu'on le chauffe à 30° environ, il se dédouble en anhydride sulfurique qui se dégage et en acide sulfu-

rique qui reste dans l'appareil. L'équation précédente renversée exprime cette réaction.

Lorsqu'on chauffe les sulfates acides ils perdent de l'eau et se transforment en disulfates neutres (sels neutres de l'acide disulfurique).



Ces sels se dédoublent à une température élevée en sulfates neutres et en anhydride sulfurique :



L'acide disulfurique dissout plus facilement l'indigo que l'acide sulfurique. En présence d'un excès de base, l'acide sulfurique de Nordhausen donne des sulfates neutres.

On détermine la composition de cet acide en le transformant en sulfate de baryum, exactement comme pour l'acide sulfurique ordinaire.

**Anhydride sulfurique**  $\text{SO}^5$ . On obtient ce corps soit en chauffant légèrement l'acide disulfurique, soit en calcinant un disulfate, soit en faisant passer un mélange d'anhydride sulfureux et d'oxygène sur de l'éponge de platine légèrement chauffée.

C'est un corps cristallisé en aiguilles soyeuses fusibles à 25°, volatiles à 35°; il est extrêmement avide d'eau. La baryte placée dans sa vapeur donne lieu à une vive incandescence et produit du sulfate de baryum.



Pour déterminer la composition de ce corps on le combine avec l'eau et l'on précipite l'acide sulfurique produit par du chlorure de baryum. Du poids de sulfate de baryum obtenu on déduit par le calcul celui du soufre que ce sel renferme, et il suffit alors de défalquer ce poids du poids de l'anhydride sulfurique employé pour connaître la quantité d'oxygène que ce composé contient.



**Série thionique.** Cette série renferme quatre acides dont les anhydrides sont inconnus, ce sont : l'acide dithionique ou hyposulfurique  $S^2H^2O^6$ , dont l'anhydride serait  $S^2O^5$ .

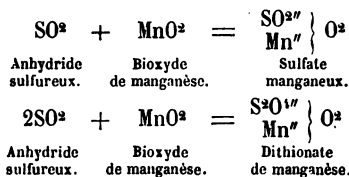
L'acide trithionique ou hyposulfurique monosulfuré  $S^3H^2O^6$ , dont l'anhydride serait  $S^3O^5$ ,

L'acide tétrathionique ou hyposulfurique bisulfuré  $S^4H^2O^6$ , dont l'anhydride serait  $S^4O^5$ ,

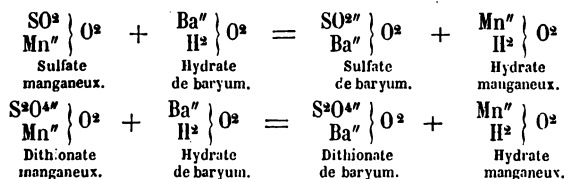
L'acide pentathionique ou hyposulfurique trisulfuré  $S^5H^2O^6$ , dont l'anhydride serait  $S^5O^5$ .

Ces quatre acides renferment, tous, comme on le voit, la même quantité d'oxygène et diffèrent seulement par la quantité de soufre, dont chaque terme de cette série renferme un atome de plus que celui qui le précède, et un atome de moins que celui qui le suit.

**Acide dithionique**  $\left. \begin{matrix} S^2O^4 \\ H^2 \end{matrix} \right\} O^2 = HO - (SO^2)^n - (SO^2)^n - OH$ . Lorsqu'on fait arriver un courant d'anhydride sulfureux dans de l'eau, tenant en suspension du bioxyde de manganèse finement pulvérisé, il se forme un mélange de sulfate et de dithionate de manganèse.

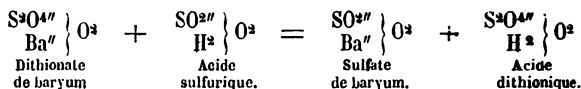


Dans la dissolution qui renferme ces deux sels, on verse un excès d'hydrate de baryum. Le manganèse se précipite à l'état d'hydrate manganeux, tandis qu'il se produit du sulfate et du dithionate de baryum.



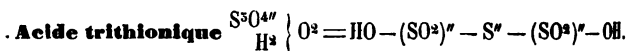
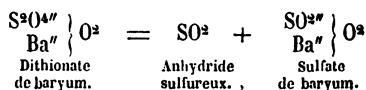
Le sulfate de baryum qui est insoluble se précipite avec l'hydrate de manganèse, et la liqueur filtrée renferme seulement du dithionate de baryum. On la concentre, et on y ajoute de l'acide sulfuri-

que goutte à goutte jusqu'à ce qu'une dernière goutte ne produise plus de précipité. Le baryum s'élimine à l'état de sulfate barytique et l'acide dithionique devient libre.



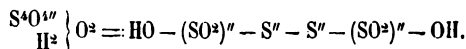
La liqueur est ensuite filtrée et concentrée dans le vide jusqu'à ce qu'elle présente une densité de 1,347.

Les dithionates fortement calcinés dégagent de l'anhydride sulfureux et se convertissent en sulfates :

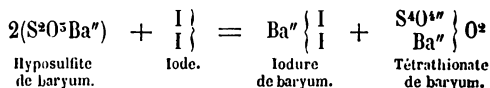


Si l'on fait digérer pendant quelques jours de la fleur de soufre dans une dissolution de bisulfite de baryum à la température de 30°, il se forme du trithionate de baryum dont on peut extraire l'acide trithionique au moyen de l'acide sulfurique en opérant comme pour l'acide dithionique :

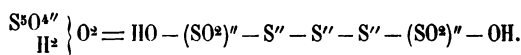
#### Acide tétrathionique



Cet acide se prépare en ajoutant de l'iode à une dissolution d'hypo-sulfite de baryum jusqu'à ce que la liqueur prenne une coloration persistante, et en décomposant par l'acide sulfurique le tétrathionate de baryum qui prend naissance dans cette réaction. La formation de ce dernier sel est exprimée par l'équation suivante :



#### Acide pentathionique



Lorsqu'on fait arriver dans l'eau un mélange d'anhydride sulfureux



Le tellure forme avec l'hydrogène un composé  $\left. \begin{matrix} \text{H} \\ \text{H} \end{matrix} \right\} \text{Te}$  qui a reçu le nom d'acide tellurhydrique et qui est gazeux. Ce composé, dont les propriétés sont analogues à celles des acides sulfhydrique et sélénhydrique, s'obtient en traitant un tellure par l'acide chlorhydrique.

Le tellure forme deux composés oxygénés : l'acide tellureux  $\left. \begin{matrix} \text{TeO}^n \\ \text{H}^n \end{matrix} \right\} \text{O}^n$  et l'acide tellurique  $\left. \begin{matrix} \text{TeO}^{2n} \\ \text{H}^{2n} \end{matrix} \right\} \text{O}^{2n}$ , dont les anhydrides  $\text{TeO}^n$  et  $\text{TeO}^{2n}$  sont connus.

Le tellure se combine également au soufre et donne naissance aux deux sulfures  $\text{TeS}^2$  et  $\text{TeS}^3$ , qu'on obtient en précipitant l'acide tellureux ou l'acide tellurique par l'hydrogène sulfuré ; enfin, le tellure forme avec le sélénium un composé mal défini<sup>1</sup>.

#### GÉNÉRALITÉS SUR LA FAMILLE DES MÉTALLOÏDES DIATOMIQUES.

L'oxygène, le soufre, le sélénium et le tellure étant diatomiques, peuvent se combiner avec tous les métalloïdes monatomiques en donnant des composés qui répondent à la formule générale  $\text{R}^n\text{X}^n$ , dans laquelle  $\text{R}^n$  représente un de ces quatre métalloïdes et  $\text{X}^n$  un radical monatomique quelconque.

De plus, nous savons que les radicaux polyatomiques ont la faculté de s'accumuler indéfiniment dans les molécules sans se saturer jamais complètement. Ordinairement plusieurs atomes polyatomiques forment un groupe dont l'atomicité est égale à la somme des capacités de saturation de chaque atome, diminuée d'autant de fois deux qu'il y a d'atomes réunis, moins un. Ainsi un groupe de cinq atomes triatomiques aurait une atomicité égale à  $(5 \times 3) - (4 \times 2) = 7$ .

Une conséquence de cette loi est que les radicaux diatomiques, en s'accumulant dans les molécules, forment des groupes dont la capacité de saturation est toujours égale à 2. En effet,  $\text{R}^{n2}$  aura pour atomicité  $2 \times 2 - 2 = 2$ ,  $\text{R}^{n3}$ ,  $(2 \times 3) - (2 \times 2) = 2$ , etc.

Donc, deux atomes monoatomiques doivent pouvoir s'unir non seulement à un, mais encore à deux, trois, quatre...  $n$  atomes

(<sup>1</sup>) Le sulfure de tellure est isomorphe avec le sulfure d'antimoine, et l'acide tellurique ne donne ni aluns, ni sels, à 7 molécules d'eau avec les métaux diatomiques. Ces caractères tendraient à écarter le tellure de la famille du soufre et à le rapprocher de la famille de l'antimoine.

diatomiques. La limite à l'accumulation de ces derniers réside seulement dans la stabilité des composés et dépend des affinités respectives des éléments qui se combinent.

Ainsi, théoriquement, les composés :

H <sup>2</sup> O,	H <sup>2</sup> O <sup>2</sup> ,	H <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	...	H <sup>2</sup> O <sup>n</sup> ,
Cl <sup>2</sup> O,	Cl <sup>2</sup> O <sup>2</sup> ,	Cl <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	...	Cl <sup>2</sup> O <sup>n</sup> ,
Br <sup>2</sup> S,	Br <sup>2</sup> S <sup>2</sup> ,	Br <sup>2</sup> S <sup>3</sup>	...	Br <sup>2</sup> S <sup>n</sup> ,
H <sup>2</sup> Se,	H <sup>2</sup> Se <sup>2</sup> ,	H <sup>2</sup> Se <sup>3</sup>	...	H <sup>2</sup> Se <sup>n</sup> ,
I <sup>2</sup> Te,	I <sup>2</sup> Te <sup>2</sup> ,	I <sup>2</sup> Te <sup>3</sup>	...	I <sup>2</sup> Te <sup>n</sup> ,

et beaucoup d'autres dont les formules sont faciles à établir, sont possibles.

En fait, tous ces composés n'existent pas. La raison en est-elle dans l'affinité de l'oxygène et de ses congénères pour l'hydrogène, le chlore, le brome, l'iode et le fluor, affinité trop faible pour permettre une telle accumulation de radicaux polyatomiques dans une même molécule? Ou bien ces corps sont-ils possibles quoique non encore découverts? On peut faire les deux hypothèses à la condition toutefois que l'on n'attribue pas à  $n$  une valeur par trop forte. Quoi qu'il en soit, ceux de ces composés qui sont connus sont les suivants.

COMPOSÉS OXYGÉNÉS.

Eau H <sup>2</sup> O	Anhydride hypochloreux Cl <sup>2</sup> O.	Anhydride hypobromeux Br <sup>2</sup> O.
Eau oxygénée H <sup>2</sup> O <sup>2</sup>	Bioxyde de chlore probable Cl <sup>2</sup> O <sup>2</sup> . Anhydride chloreux Cl <sup>2</sup> O <sup>3</sup> . Hypochloride ClO <sup>2</sup> ou peut-être Cl <sup>2</sup> O <sup>4</sup> .	Anhydride iodique I <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .

Corps auxquels il faut joindre l'anhydride chlorique Cl<sup>2</sup>O<sup>5</sup>, l'anhydride bromique Br<sup>2</sup>O<sup>5</sup>, l'anhydride perchlorique Cl<sup>2</sup>O<sup>7</sup>, l'anhydride perbromique Br<sup>2</sup>O<sup>7</sup> et l'anhydride per-iodique I<sup>2</sup>O<sup>7</sup>; composés encore inconnus, mais dont on connaît les acides correspon-

COMPOSÉS SULFURÉS:

Acide sulfhydrique H <sup>2</sup> S.	Bichlor
Persulfure d'hydrogène H <sup>2</sup> S <sup>2</sup> ou H <sup>2</sup> S <sup>5</sup> .	Pr

## COMPOSÉS SÉLÉNIÉS.

Acide sélénhydrique  $H^2Se$ . Chlorure de Sélénium  $Cl^2Se$ .

## COMPOSÉS TELLURIÉS.

Acide tellurhydrique  $H^2Te$ . Bromure de tellure  $Br^2Te$ .  
Chlorure de tellure  $Cl^2Te$ . Iodure de tellure  $I^2Te$ .

Il existe aussi des composés du soufre et du sélénium avec le brome et l'iode, mais ils sont mal connus.

Jusqu'ici nous avons supposé l'oxygène, le soufre, le sélénium et le tellure diatomiques; et cette manière de considérer ces corps est permise parce qu'ils se comportent comme bivalents dans la plupart des cas. Il est pourtant quelques rares composés dans lesquels ils sont tétravalents. Tels sont les trois chlorures  $S^{Cl}_4$ ,  $Se^{Cl}_4$ ,  $Te^{Cl}_4$  et le sous-oxyde d'argent  $Ag^4O$ , etc.

Les métalloïdes diatomiques peuvent aussi se combiner entre eux. Nous ne nous arrêterons pas sur les composés que la théorie nous permet de prévoir, le nombre en est naturellement illimité. Le soufre, le sélénium et le tellure font partie d'acides oxygénés dont les anhydrides sont l'anhydride sulfureux  $SO^2$ , l'anhydride sélénieux  $SeO^2$ , l'anhydride tellureux  $TeO^2$ , l'anhydride sulfurique  $SO^3$ , l'anhydride sélénique (inconnu)  $SeO^3$ , l'anhydride tellurique  $TeO^3$ .

En outre, pour le soufre, il existe, un certain nombre d'acides dont on ne connaît pas les anhydrides, et dont on n'a pas encore découvert les termes correspondants dans la série du sélénium et du tellure; ce sont :

1° L'acide hydrosulfureux. . . . .	$SO^2$	$\left\{ \begin{array}{l} H \\ H \end{array} \right.$
2° L'acide hyposulfureux. . . . .	$SO^2$	$\left\{ \begin{array}{l} OH \\ SH \end{array} \right.$ ou plutôt les hy-
posullites métalliques, car cet acide n'est pas stable lui-même.		
3° L'acide dithionique. . . . .	$S^2O^{4H}$	$\left\{ \begin{array}{l} OH \\ OH \end{array} \right.$
4° L'acide trithionique. . . . .	$S^3O^{4H}$	$\left\{ \begin{array}{l} OH \\ OH \end{array} \right.$
5° L'acide tétrathionique. . . . .	$S^4O^{4H}$	$\left\{ \begin{array}{l} OH \\ OH \end{array} \right.$
6° L'acide pentathionique. . . . .	$S^5O^{4H}$	$\left\{ \begin{array}{l} OH \\ OH \end{array} \right.$

Si jamais on trouve le moyen de préparer les anhydrides hyposulfureux et pentathionique, ces corps seront polymères. L'anhydride hyposulfureux aurait, en effet, pour formule  $S^2O^2$  et l'anhydride pentathionique  $S^5O^2$ .

Enfin, nous avons déjà vu que le sélénium et le tellure peuvent aussi se combiner au soufre en formant des composés qui correspondent aux combinaisons oxygénées de ces corps.

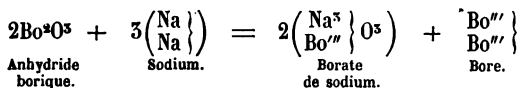
### TROISIÈME FAMILLE (MÉTALLOÏDES TRIATOMIQUES).



Poids atomique = 11    Poids moléculaire inconnu.

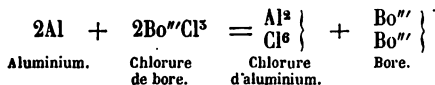
Le bore peut être obtenu par trois procédés divers, et chacun de ces procédés de préparation le donne avec des propriétés différentes.

1° On décompose au rouge l'anhydride borique par le sodium et l'on reprend ensuite la masse par de l'eau acidulée d'acide chlorhydrique.



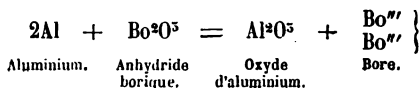
Le bore ainsi obtenu est amorphe et brunâtre.

2° On fait passer un courant de chlorure de bore sur de l'aluminium fondu. Il se produit du chlorure d'aluminium qui se volatilise, et du bore qui se dissout dans l'excès d'aluminium.



Bientôt la volatilisation continuelle de l'aluminium et l'arrivée continue aussi du bore amènent la sursaturation du dissolvant. Le bore se dépose alors en cristaux prismatiques hexagonaux, brunâtres et opaques. On purifie ces derniers en les faisant bouillir avec de l'acide chlorhydrique qui dissout l'aluminium. Ce bore, qui retient toujours une forte proportion d'aluminium, a été nommé graphitoïde, pour rappeler certaines analogies qu'on a cru remarquer entre lui et le graphite. (*Voy. CARBONE.*)

3° On calcine dans un creuset en charbon l'anhydride borique avec de l'aluminium : il se forme de l'oxyde d'aluminium et du bore.



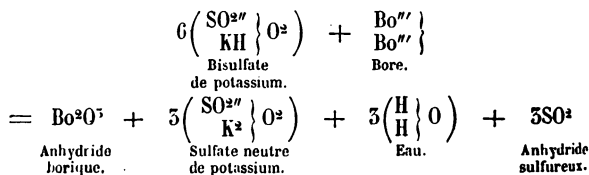
Pour purifier le bore ainsi préparé, on le fait bouillir d'abord avec une solution d'hydrate de potassium, puis avec de l'acide chlorhydrique, et, en dernier lieu, on le sépare mécaniquement de l'oxyde d'aluminium avec lequel il est mélangé.

Le bore est alors transparent, un peu jaunâtre, cristallisé en prismes pyramidés à base carrée, presque aussi durs et aussi réfringents que le diamant ; sa densité est 2,68. A cet état il renferme toujours une certaine proportion de carbone. M. Deville l'a nommé diamant de bore. Le bore ne fond à aucune température ; il s'oxyde à la température de combustion du diamant et se transforme alors en anhydride borique. Au rouge, il brûle dans le chlore gazeux en formant du chlorure de bore.

Les acides ne l'attaquent pas, si ce n'est l'eau régale, qui paraît le dissoudre un peu à la longue.

La potasse et la soude l'attaquent au rouge.

Le bisulfate de potassium le transforme en anhydride borique en dégageant de l'anhydride sulfureux et de l'eau.



Le bore est susceptible d'absorber directement à chaud l'azote de l'air en formant un azoture.

Le bore amorphe, lorsqu'il n'a pas été fortement calciné, entre un peu plus facilement en combinaison que les deux autres variétés de ce corps.

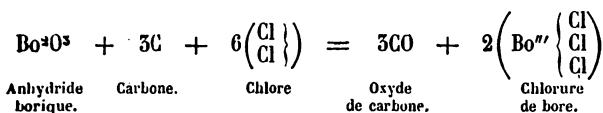
Ces trois variétés du bore constituent-elles trois états allotropiques différents ou appartiennent-elles au domaine du polymorphisme ? C'est ce qu'il serait difficile de décider avant que de nouvelles expériences aient élucidé la question.



## COMBINAISONS DU BORE AVEC LES MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES,

Le bore se combine avec ces métalloïdes en donnant des composés qui répondent à la formule générale  $\text{BoX}^3$ . Les chlorure, bromure et fluorure de bore sont seuls connus jusqu'ici, mais il est probable que l'iodure de bore et peut-être même l'hydrogène boré pourront être obtenus.

**Chlorure et bromure de bore.** On prépare le chlorure de bore en faisant passer un courant de chlore sur un mélange d'anhydride borique et de charbon chauffé au rouge ; le charbon s'empare de l'oxygène, tandis que le bore se combine au chlore.



Le mélange d'anhydride borique et de charbon se fait en mêlant

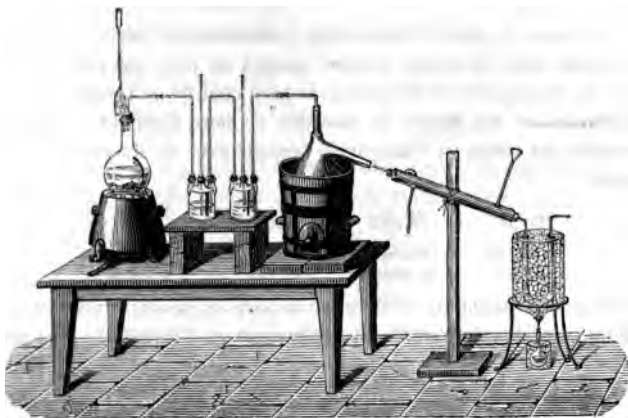


Fig 27.

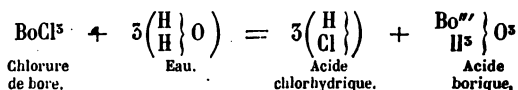
les deux corps finement pulvérisés, et les pétrissant avec de la colle d'amidon. Lorsque le tout forme une pâte assez ferme, on la roule en boulettes et on calcine ces dernières dans un creuset ; l'amidon se détruit, et l'on a ainsi de petites boules, formées d'anhydride borique et de charbon.

On met ces boulettes dans une cornue en grès tubulée que l'on place dans un fourneau à réverbère (*fig. 27*); dans la tubulure supérieure de cette cornue est engagé un tube de porcelaine qui descend jusqu'au fond. Ce tube de porcelaine est assez élevé pour n'être pas très-chaud à sa partie supérieure, de manière que par le moyen d'un tube de verre et d'un bouchon de liège, on puisse le mettre en communication avec l'appareil qui produit le chlore.

La tubulure latérale de la cornue est unie à des appareils réfrigérants destinés à condenser le produit.

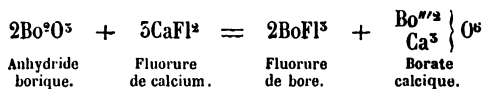
Quand l'appareil est ainsi disposé, il suffit de chauffer au rouge la cornue qui renferme le mélange d'anhydride borique et de charbon, et de diriger dans son intérieur un courant de chlore bien sec pour que le chlorure de bore se produise.

Sous l'influence de l'eau, le chlorure de bore se décompose en acide chlorhydrique et en acide borique.

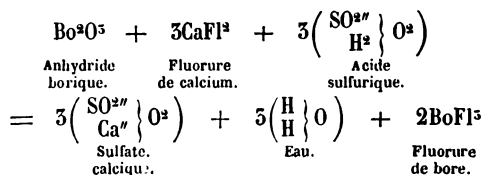


Le bromure de bore s'obtiendrait probablement par un procédé analogue, mais il n'a été préparé jusqu'à ce jour que par l'action directe des vapeurs de brome sur le bore chauffé au rouge.

**Fluorure de bore.** Le fluorure de bore s'obtient en faisant chauffer au rouge vif l'anhydride borique avec du fluorure de calcium.

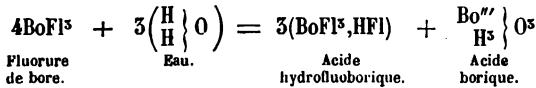


On peut aussi obtenir le fluorure de bore en chauffant un mélange de fluorure de calcium, d'acide sulfurique et d'anhydride borique :



Le fluorure de bore au contact de l'eau donne naissance à des acides que l'on a nommés hydrofluoborique et fluoborique. Le pre-

mier résulte de l'union d'une molécule d'acide fluorhydrique avec une molécule de fluorure de bore. Il a pour formule  $\text{BoFl}^{\text{s}}$ ,  $\text{HFl} = \text{BoFl}^{\text{s}}\text{H}$  et fonctionne comme acide monobasique; sa formation est exprimée par l'équation,

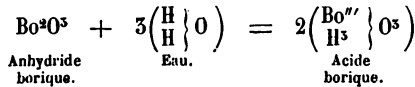


Le second improprement nommé acide fluoborique, car il constitue l'acide fluoxyborique  $\text{Bo}'' \left\{ \begin{array}{c} \text{O} \\ \text{OH} \end{array} \right\}$ ,  $3 \text{FlH}$ , résulte de la fixation de trois molécules d'acide fluorhydrique sur une molécule du premier anhydride borique; c'est un acide tribasique.

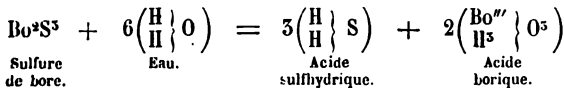
#### COMBINAISONS DU BORE AVEC LES MÉTALLOÏDES DIATOMIQUES.

On connaît des combinaisons du bore avec le soufre et l'oxygène. Elles ont pour formules  $\text{Bo}^{\text{s}}\text{O}^{\text{s}}$  et  $\text{Bo}^{\text{s}}\text{S}^{\text{s}}$ .

Le premier de ces corps est un anhydride qui, en réagissant sur l'eau, se transforme en acide borique triatomique.



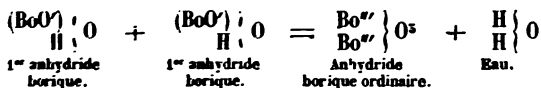
Le second, au contact de l'eau, se décompose en donnant naissance à de l'acide borique et à de l'acide sulfhydrique.



L'acide borique se retire d'émanations gazeuses (*soffioni*) qui s'exhalent du sol de la Toscane et qui viennent aboutir dans de petits lacs (*lagoni*), dont il suffit d'évaporer l'eau pour obtenir l'acide borique. Cette eau contenant toujours de l'acide sulfhydrique, on est porté à admettre que le sol de la Toscane renferme, à de grandes profondeurs, du sulfure de bore et que ce sulfure est décomposé par la vapeur d'eau dont les *soffioni* sont en grande partie constitués.

L'acide borique est un corps cristallisé qui perd à 100° une molécule d'eau en formant un premier anhydride  $\left(\text{BoO}'\right) \left\{ \begin{array}{c} \text{O} \\ \text{H} \end{array} \right\}$  ou

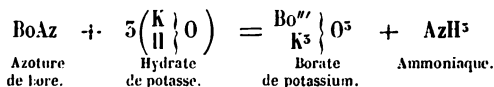
$\text{Bo}'' \left\{ \begin{array}{l} \text{O}'' \\ \text{OH} \end{array} \right.$  Au rouge, ce premier anhydride se double en m temps qu'il perd une deuxième molécule d'eau pour forme dernier anhydride borique.



Ce phénomène se rencontre souvent en chimie. Les acides contiennent plus de deux atomes d'hydrogène typique, après a perdu une molécule d'eau, renferment encore de l'hydrogène pique. Il en résulte que ces acides peuvent donner naissance à sieurs anhydrides présentant des degrés divers de déshydrat Le nombre d'anhydrides possibles est lié au nombre d'atomes d drogène typique que l'acide contient. Le même phénomène s serve aussi avec les bases polyatomiques.

#### COMBINAISONS DU BORE AVEC LES MÉTALLOÏDES TÉTRA ET PENTATOMIQUE

On ne connaît aucune combinaison définie du bore avec les talloïdes tétratômiques. Parmi les métalloïdes pentatomiques i est un, l'azote, qui se combine au bore. L'azoture de bore a p formule  $\text{Bo}''\text{Az}$ ; les bases le décomposent en ammoniaque et b métallique.



#### QUATRIÈME FAMILLE (MÉTALLOÏDES TÉTRATOMIQUES).

#### SILICIUM $\text{Si}''$

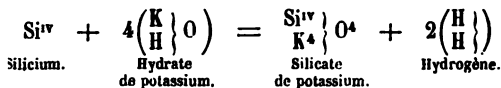
Poids atomique = 28    Poids moléculaire inconnu.

Le silicium peut être obtenu de plusieurs manières et prése des propriétés différentes, selon la méthode qui a servi à le parer.

1° On calcine le fluorure double de silicium et de potass

potassium. Il se forme du silicium et du fluorure de potassium. On reprend par l'eau qui dissout ce dernier sel et laisse un libre.

préparé le silicium est brun, amorphe, infusible, insoluble dans les véhicules. A une haute température, il s'oxyde mais s'incomplètement, parce que l'oxyde formé préserve le silicium encore attaqué. Calciné avec de l'hydrate de potassium, il donne naissance à du silicate de potassium et à un dégagement d'hydrogène.



On peut préparer le silicium en faisant passer son chlorure d'aluminium fondu, comme il a été dit à l'occasion du silicium, à travers des paillettes brillantes qui diffèrent du silicium précédent par leurs propriétés extérieures. M. Deville a préparé ce silicium, silicium graphitoïde.

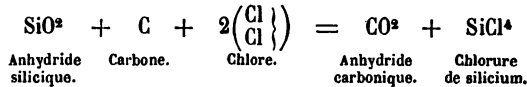
On peut introduire dans un creuset chauffé au rouge un mélange de 3 p. de fluorure double de silicium et de potassium, de 2 p. de zinc grenailé et de 1 p. de sodium. Il se forme du fluorure de sodium, et du silicium qui se dissout dans le zinc fondu et se précipite par le refroidissement. Après l'opération on dissout dans l'acide chlorhydrique : le silicium reste à l'état d'aiguilles brillantes d'un gris d'acier, formées de chapelets d'acier du premier système. Ces cristaux coupent le verre, affectent la même forme que le diamant et ne présentent plus aucune des propriétés du silicium ordinaire. Le silicium ainsi cristallisé est nommé silicium adamantin.

Le silicium amorphe, le silicium graphitoïde et le diamant ne constituent-ils trois états allotropiques d'un même corps, et les trois modifications dépendent-elles du polymorphisme? c'est ce qu'on ne saurait décider aujourd'hui.

COMBINAISONS DU SILICIUM AVEC LES MÉTALLOÏDES  
PRÉCÉDEMMENT ÉTUDIÉS.

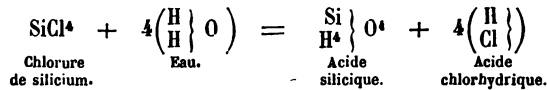
**Chlorures de silicium.** On en connaît deux ; le premier  $\text{Si}^{\text{IV}}\text{Cl}^4$ , correspondant au tétrachlorure de carbone  $\text{CCl}^4$ , et le second  $\text{Si}^{\text{IV}}\text{Cl}^5$  correspondant à l'hydrure d'éthyle perchloré  $\text{C}^2\text{Cl}^6$ .

On obtient le premier en faisant passer un courant de chlore sec sur un mélange intime d'anhydride silicique et de charbon chauffé au rouge.



On opère exactement de la même manière que pour la préparation du chlorure de bore.

Le chlorure de silicium est liquide et bout à 59° ; il se décompose au contact de l'eau en acides chlorhydrique et silicique.



Lorsqu'on fait passer un mélange de vapeurs de chlorure de silicium et d'oxygène à travers un tube de porcelaine chauffé au rouge, l'oxygène déplace partiellement le chlore du chlorure et engendre une série d'oxychlorures dont les formules sont :



La constitution du premier qui est seul étudié et dont la découverte est due à M. Friedel, peut être exprimée par la formule ;

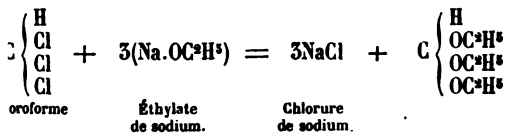


il forme un liquide incolore, bouillant à 139°, fumant à l'air, que l'eau décompose en acide silicique et chlorhydrique.

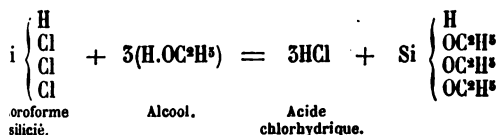
En chauffant le silicium au rouge naissant dans un courant de

chlorhydrique sec, on obtient un mélange de tétrachlorure de carbone et d'un corps bouillant à 36°, qui répond à la formule CCl<sub>4</sub>. Cette formule en fait du chloroforme CHCl<sub>3</sub>, dont le carbone est remplacé par le silicium, et ce n'est point seulement sa composition, ce sont ses réactions qui portent à le considérer comme chloroforme silicié.

Sous l'influence de l'éthylate de sodium, le chloroforme échange ses atomes de chlore contre trois oxéthyles, et fournit le chloroforme silicié CH(OC<sup>2</sup>H<sup>5</sup>)<sub>3</sub>.

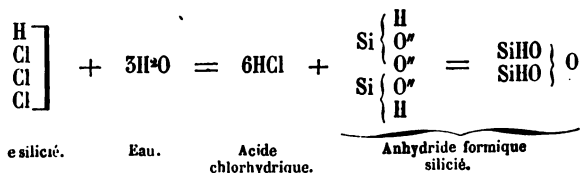


Le chloroforme silicié donne une réaction identique lorsqu'on le traite sur l'alcool



Le chloroforme silicié traité par la potasse alcoolique échange ses atomes de chlore contre un atome d'oxygène et 1 atome de chlore dans un groupe OK pour donner du formiate de potassium, et finalement de l'acide formique.

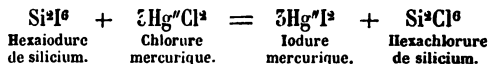
Si on traite par l'eau, le chloroforme silicié échange son chlore contre l'oxygène et fournit non de l'acide, mais de l'anhydride formique qui renferme du silicium au lieu de carbone.



Le chloroforme silicié transforme le chloroforme silicié en tétrachlorure de carbone et en acide chlorhydrique.

L'hexachlorure  $\text{Si}^{\text{IV}}\text{Cl}^6 = \frac{\text{Si}^{\text{IV}}\text{Cl}^5}{\text{Si}^{\text{IV}}\text{Cl}^3}$  prend naissance lorsqu'on chauffe

l'hexaïodure, qui est décrit plus loin avec du chlorure mercurique :



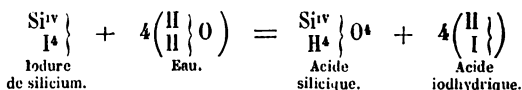
L'hexachlorure forme un liquide bouillant à 146° et cristallisant à -1°; ses autres propriétés sont tout à fait analogues à celles de l'hexaïodure.

**Bromure de silicium**  $\left. \begin{array}{l} \text{Si}^{\text{IV}} \\ \text{Br}^4 \end{array} \right\}$ . Le bromure de silicium s'obtient par le même procédé que le chlorure, est liquide comme le chlorure et se décompose d'une manière analogue au contact de l'eau en acides bromhydrique et silicique.

Le silicium, chauffé au rouge sombre dans un courant de gaz acide bromhydrique donne du bromure de silicium et du bromoforme silicique  $\text{SiHBr}^5$ .

**Iodures de silicium.** On en connaît deux : un tétraïodure  $\text{Si}^{\text{IV}}\text{I}^4$ , et un hexaïodure  $\text{Si}^{\text{IV}}\text{I}^6$ ; on a aussi préparé l'iodoforme silicié  $\text{Si}^{\text{IV}}\text{HI}^3$ .

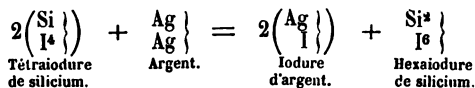
On obtient le *tétraïodure*  $\left. \begin{array}{l} \text{Si}^{\text{IV}} \\ \text{I}^4 \end{array} \right\}$  en faisant agir de la vapeur d'iode sur du silicium chauffé au rouge : il se sublime dans cette opération des octaèdres réguliers et blancs, et de l'iodure. Ce corps fond à 120°,5 et bout à 290°; l'eau le décompose en acides iodhydrique et silicique :



**L'iodoforme silicié**  $\left. \begin{array}{l} \text{Si}^{\text{IV}} \\ \text{HI}^3 \end{array} \right\}$  se forme en même temps que le tétraïodure dans l'action de l'acide iodhydrique sur du silicium chauffé au rouge naissant. C'est un liquide incolore, très-réfringent, bouillant à 220°, qui offre des réactions tout à fait analogues à celles du chloroforme silicié.

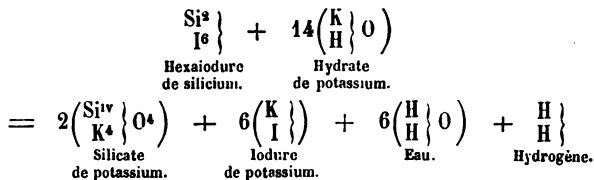
*Hexaïodure de silicium*  $\text{Si}^{\text{IV}}\text{I}^6 = \frac{\text{Si}^{\text{IV}}\text{I}^5}{\text{Si}^{\text{IV}}\text{I}^3}$ . Pour préparer ce composé on chauffe à 500° dans un tube fermé du tétraïodure avec de l'argent divisé :



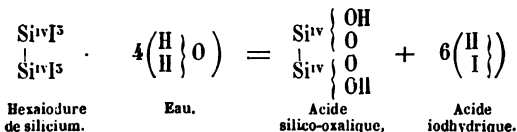


Il cristallise en rhomboédres incolores, non volatils sans décomposition.

La potasse le décompose suivant l'équation :

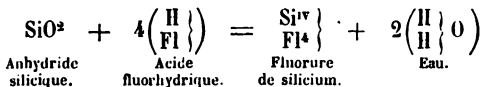


L'eau glacée donne un acide blanc, insoluble, peu stable, de la formule  $\text{Si}^2\text{H}^2\text{O}^4$ , qu'on peut envisager comme de l'acide oxalique  $\text{C}^2\text{H}^2\text{O}^4$ , dans lequel le carbone serait remplacé par du silicium :



Ces faits mettent hors de doute l'existence d'une série  $\text{Si}^2\text{X}^6$  pour le silicium, correspondant à la série éthylique  $\text{C}^2\text{X}^6$  du carbone ; on pourrait la nommer avec M. Friedel, auquel sont dus ces résultats, la série éthylique du silicium.

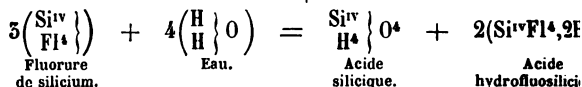
**Fluorure de silicium**  $\left. \begin{array}{c} \text{Si}^{\text{iv}} \\ \text{Fl}^4 \end{array} \right\}$ . On obtient ce fluorure en faisant agir l'acide fluorhydrique sur l'anhydride silicique ou, ce qui est la même chose, en soumettant cet anhydride à l'action d'un mélange d'acide sulfurique et de fluorure de calcium :



Le fluorure de silicium est un gaz qui répand à l'air d'épaisses fumées blanches. Il peut être liquéfié à l'aide d'une forte pression et d'un froid considérable.

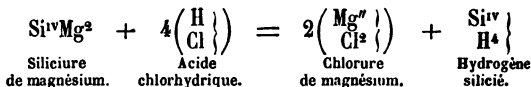
L'eau le décompose en donnant naissance à de l'acide silicique et

à un autre acide qui a reçu le nom d'acide hydrofluosilicique qui répond à la formule :  $2\text{HF}, \text{Si}^{\text{iv}}\text{F}^4$ .

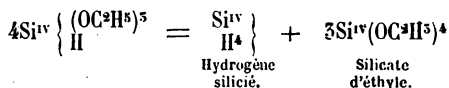


L'acide hydrofluosilicique fonctionne comme acide bibasique forme des sels, les fluosilicates, représentés par la formule  $\text{SiF}^2\text{M}^2$ , M' étant un métal monatomique.

**Hydrogène silicié**  $\begin{array}{c} \text{Si}^{\text{iv}} \\ \text{H}^4 \end{array}$ . L'hydrogène silicié prend naissance lorsqu'on décompose le siliciure de magnésium par l'acide chlorhydrique.



Préparé de cette manière, il est mélangé avec une forte portion d'hydrogène. On l'obtient à l'état de pureté en traitant par le sodium le composé  $\text{Si}^{\text{iv}} \left\{ \begin{array}{c} \text{OC}^2\text{H}^5 \\ \text{H} \end{array} \right\}^5$ , mentionné plus haut. Il se dédouble sans que le métal intervienne dans la réaction en hydrogène silicié et silicate d'éthyle.



L'hydrogène silicié est un gaz incolore qui s'enflamme spontanément à l'air lorsqu'il est dilué d'hydrogène. La potasse le décompose en hydrogène libre et silicate de potassium.

**Anhydride silicique.**  $\text{SiO}^2$ . (Synonymie : *Silice*.) La silice très-abondante dans la nature, elle constitue le cristal de roche, le sable quartzueux, l'agate, la pierre à fusil, etc. On peut l'obtenir très-pure en faisant arriver un courant de gaz fluorure de silicium dans l'eau, recueillant sur un filtre le précipité gélatineux qui se dépose et le desséchant à une douce chaleur.

La silice est insoluble dans l'eau pure, dans les solutions alcalines et dans les acides.

Elle n'est décomposée par aucun métalloïde. Mais à une température élevée elle est décomposée par le carbone et le

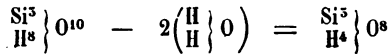
température, on peut la décomposer en faisant intervenir à la fois deux corps ayant l'un de l'affinité pour l'oxygène, et l'autre de l'affinité pour le silicium ; le carbone et le chlore par exemple.

La silice forme des sels lorsqu'on la chauffe avec des bases ou des anhydrides basiques. Ces sels répondent en général à la formule :



Les sels de potassium ou de sodium sont solubles ; l'acide chlorhydrique, l'acide azotique, l'anhydride carbonique..., etc., en précipitent un hydrate gélatineux de silice, probablement l'acide silicique  $\left. \begin{array}{c} \text{Si}^{\text{iv}} \\ \text{H}^4 \end{array} \right\} \text{O}^4$ . Un excès d'acide chlorhydrique redissout le précipité.

L'acide silicique gélatineux perd de l'eau à l'air et se transforme en un acide condensé répondant à la formule  $\left. \begin{array}{c} \text{Si}^{\text{iv}^5} \\ \text{H}^4 \end{array} \right\} \text{O}^8$ , lequel paraît être le deuxième anhydride de l'acide trisilicique inconnu dont la formule serait  $\left. \begin{array}{c} \text{Si}^{\text{iv}^3} \\ \text{H}^8 \end{array} \right\} \text{O}^{10}$ .



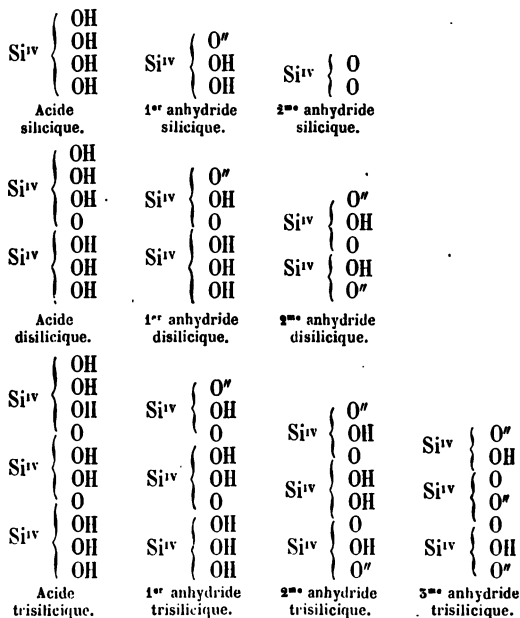
L'acide  $\left. \begin{array}{c} \text{Si}^{\text{iv}^5} \\ \text{H}^4 \end{array} \right\} \text{O}^8$ , chauffé à 100°, perd la moitié de son hydrogène à l'état d'eau et se transforme en un nouvel anhydride  $\left. \begin{array}{c} \text{Si}^{\text{iv}^5} \\ \text{H}^2 \end{array} \right\} \text{O}^7$ .

M. Ebelmen, en décomposant l'éther silicique par l'eau, a obtenu un acide silicique qui a pour formule  $\left. \begin{array}{c} \text{Si}^{\text{iv}^2} \\ \text{H}^4 \end{array} \right\} \text{O}^6$ .

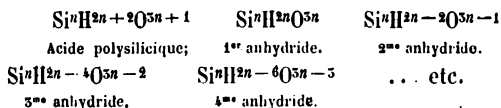
C'est probablement le premier anhydride de l'acide disilicique, dont la formule serait  $\left. \begin{array}{c} \text{Si}^{\text{iv}^2} \\ \text{H}^8 \end{array} \right\} \text{O}^7$ .

Les quelques hydrates de silice connus sont loin d'être les seuls possibles ; l'acide silicique, comme tous les acides polyatomiques, a la propriété de donner des acides condensés, résultant de l'union de deux, trois, quatre, etc. molécules d'acide, avec perte d'une, de deux, de trois, etc. molécules d'eau. C'est ainsi qu'on forme les acides di, tri, tétrasilicique, etc. Ces acides peuvent encore perdre de l'eau, mais sans doubler leurs molécules et produire ainsi une série d'anhydrides ; les quelques formules sui-

vantes suffiront pour montrer le mécanisme si simple de déshydratations successives.



On peut représenter la composition des acides polysiliciques de leurs anhydrides par les formules générales suivantes :



En fait, et en raison de la faible stabilité de ces acides, peu d'entre eux existent à l'état de liberté, mais on connaît beaucoup de sels qui leur correspondent. Ces sels constituent une grande partie de ces nombreuses espèces minéralogiques dont jusqu'ici les formules paraissaient si compliquées.

En plaçant la solution chlorhydrique de l'acide silicique dans un cylindre ouvert à l'une de ses extrémités et obturé à l'autre par du papier parchemin (papier trempé dans de l'acide sulfurique

puis lavé et desséché), et plongeant le tout dans de l'eau ordinaire, M. Graham a obtenu un acide silicique soluble. Dans cette expérience, qu'il nomme *dialyse*, l'acide chlorhydrique et les diverses substances cristallisables que contenait la solution passent à travers le papier parchemin et l'acide silicique soluble reste pur au-dessus de ce papier. Cet acide paraît appartenir à un type très-condensé. Une très-faible quantité de potasse suffit, en effet, pour le saturer; il se détruit assez facilement en se transformant en silice gélatineuse. Le temps seul peut produire ce résultat.

**Sulfure de silicium**  $\text{Si}^{\text{IV}}\text{S}^2$ . On peut préparer le sulfure de silicium à l'état de pureté, en faisant passer du sulfure de carbone en vapeur sur de la silice chauffée au rouge. L'eau le décompose avec formation d'acide sulfhydrique et d'une variété d'acide silicique, qui reste dissous. Ce phénomène permet d'expliquer la formation des eaux siliceuses naturelles.

### C A R B O N E C.

Poids atomique = 12. Poids moléculaire inconnu.

Il existe un grand nombre de variétés de carbone; elles ont des propriétés communes et des caractères distinctifs.

Les propriétés communes sont les suivantes :

Le carbone est infusible aux plus hautes températures et insoluble dans tous les liquides connus. A une température qui diffère d'une variété à l'autre, il se combine à l'oxygène en donnant naissance, selon les quantités d'oxygène employé, soit à l'anhydride carbonique  $\text{CO}^2$ , soit à l'oxyde de carbone CO, tous deux gazeux.

Enfin on a constaté que certaines variétés de carbone se combinent directement à l'hydrogène sous l'influence d'un fort courant électrique en formant un hydrocarbure  $\text{C}^2\text{H}^2$ . Il est probable que toutes les variétés de carbone subiraient la même réaction si toutes conduisaient assez bien l'électricité.

Les variétés connues de carbone sont : le diamant, le graphite, le coke, le charbon de bois, le noir animal, le noir de fumée, le charbon de sucre et le charbon des cornues à gaz. On pourrait ajouter encore l'anhracite, la houille, la lignite et la tourbe, c'est-

à-dire les combustibles minéraux ; mais ces corps n'étant que des végétaux plus ou moins complètement carbonisés, sont loin de constituer des espèces chimiques définies. Aussi leur étude doit-elle être abandonnée aux naturalistes.

**Diamant.** Le diamant est du carbone cristallisé dans le système cubique, en solides qui ont souvent jusqu'à 48 faces. Ces faces ont une grande tendance à affecter des formes courbes. Les diamants sont ordinairement incolores ; on en connaît cependant de noirs et de diversement colorés.

Le diamant est le corps le plus dur qui existe ; le bore cristallisé s'en rapproche seul par sa dureté.

Le diamant a une densité de 3,50 à 3,55 ; il est transparent et constitue le plus réfringent de tous les corps solides.

La nature de ce corps a été établie par sa combustion dans l'oxygène. On a constaté qu'il se forme dans ce cas de l'anhydride carbonique, c'est-à-dire le même composé qui se produit lorsqu'on brûle le carbone ordinaire.

Fortement chauffés, les diamants se transforment en une substance analogue au graphite. Ce n'est donc point par une fusion opérée à une haute température qu'ils ont pris naissance. On les trouve dans des terrains d'alluvion, probablement fort loin des lieux où ils ont pris naissance, et leur état naturel ne permet de tirer aucune induction relative à leur mode de formation.

Le diamant ne peut être taillé qu'à l'aide de sa propre poussière ou de celle de bore cristallisé. La poussière faite à l'aide des diamants de qualité inférieure porte le nom d'égrisée.

**Graphite.** Le graphite n'est autre que cette variété de carbone qui sert à faire les crayons ; il existe à l'état naturel. On peut l'obtenir artificiellement en faisant refroidir lentement de la fonte fondue et tenant en dissolution un excès de carbone. Cette fonte laisse déposer par le refroidissement l'excès de carbone à l'état de graphite qu'on peut isoler en attaquant la fonte par l'acide chlorhydrique ; le fer se dissout tandis que le graphite reste insoluble sous forme de lames hexagonales.

On peut préparer le graphite au moyen du chlorure de carbone par un procédé analogue à celui que nous avons décrit à l'occasion du bore ou du silicium graphitoïde ; seulement on doit remplacer l'aluminium par du fer.

Le graphite cristallise en lames hexagonales, noires et très-

il est assez mou pour laisser une trace noire sur le papier, et a l'éclat métallique et brûle avec difficulté.

On le prépare, en attaquant le graphite à 60° par un mélange oxygéné d'acide azotique et de chlorate de potassium, à l'aide d'un corps acide, l'acide graphitique, dont la formule paraît être  $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_5$ . En rapprochant cet acide d'un corps obtenu par l'oxydation au moyen du silicium graphitoïde, et qui a pour formule  $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_5$ , et en s'appuyant sur ce fait que l'acide qu'on prépare par le graphite ne peut être obtenu avec aucune autre variété de carbone, M. Brodie admet que cet acide répond à la formule  $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_5$ . Il est obligé pour cela d'y attribuer au carbone atomique égal à 33, qui ne présente aucun rapport simple avec son poids atomique ordinaire. A l'appui de cette hypothèse, Brodie fait observer que, tandis que les chaleurs spécifiques de diverses variétés de carbone ne s'accordent point avec le poids atomique de ce corps, 12, la chaleur spécifique du graphite s'accorde avec le poids atomique 33. Il ne faut pas attribuer trop de valeur à cet argument, car, d'après des recherches récentes, la chaleur spécifique du graphite augmente dans une proportion normale avec la température.

Ces considérations ont un grand intérêt; malheureusement la théorie proposée par M. Brodie et les analogies qui relient celle-ci à celle de M. Wöhler ne sont pas établies avec assez d'évidence pour que l'hypothèse que nous venons d'exposer puisse être regardée comme démontrée.

On a vu, dans la propriété de donner naissance à un composé qui ne peut être obtenu avec aucune autre variété de carbone dérivée de ce métalloïde existe dans le graphite sous un état particulier. Par suite, l'analogie porte à croire que le graphite représente aussi un état allotropique du carbone.

Le coke est le charbon que l'on obtient en calcinant la houille. Il est poreux et difficilement combustible. Les parties de houille fournissent en moyenne de 60 à 65 parties

**bon de bois.** On prépare ce charbon, soit en distillant dans un vase clos, soit en mettant le feu à de grandes masses de bois que l'on recouvre ensuite de terre (procédé des forêts). Le procédé a cet avantage qu'il permet de recueillir des pro-

duits volatils, tels que vinaigre, esprit-de-bois, etc.; mais il donne un charbon qui fait peu d'usage. On doit employer ce procédé toutes les fois qu'on se propose d'obtenir un charbon facilement combustible, comme cela a lieu lorsque ce corps est destiné à la fabrication de la poudre; on doit le rejeter, au contraire, lorsque ce combustible est destiné à alimenter des fourneaux.

Le charbon de bois jouit de la propriété d'absorber les gaz sans se combiner avec eux. Lorsqu'il est déjà saturé d'un gaz, il est moins apte à en absorber d'autres; aussi, pour démontrer cette propriété, faut-il commencer par calciner le charbon ou par l'exposer pendant quelque temps dans le vide, afin de le débarrasser des gaz qu'il contient.

Tous les gaz ne sont point absorbés également par le charbon; ceux qui sont les plus solubles dans l'eau sont aussi les plus absorbables.

La condensation des gaz par le charbon, les rend plus aptes à entrer en réaction. On observe qu'une explosion se produit lorsqu'on met en contact avec l'oxygène un morceau de charbon de bois saturé de gaz acide sulfhydrique.

Cette propriété du charbon de bois a permis d'employer ce corps comme désinfectant, et de l'utiliser en médecine pour absorber les gaz qui remplissent le tube digestif dans la tympanite (charbon de Belloc).

Le charbon de bois s'empare aussi des substances colorantes d'origine organique, et même de certaines substances minérales, au nombre desquelles se trouve l'iode.

**Noir animal.** On prépare le noir animal en calcinant les os en vase clos. Ce charbon contient toujours du phosphate et du carbonate de calcium; mais il suffit de le laver à l'acide chlorhydrique pour le débarrasser de ces impuretés.

Comme le charbon de bois, le noir animal absorbe le gaz et désinfecte, mais à un degré moindre. En revanche, il est beaucoup plus apte à décolorer. Cette propriété a reçu un usage d'une grande importance dans les fabriques et dans les raffineries de sucre.

**Noir de fumée.** On prépare le noir de fumée en recevant dans une chambre destinée à cet effet la fumée noire que l'on obtient en brûlant des résines ou d'autres substances très-carbonées en présence d'une quantité d'oxygène insuffisante. Ce charbon n'est pas



pur; si l'on veut le débarrasser d'une matière goudronneuse qu'il contient, il faut le calciner dans un creuset.

Le noir de fumée constitue un charbon en poussière très-fine, qui sert à faire de l'encre de Chine et d'autres couleurs noires. En pharmacie, on l'emploie à la préparation du caustique noir, qui se compose d'une partie de ce corps et de trois parties d'acide sulfurique concentré. Le noir de fumée n'y entre que pour donner à l'acide sulfurique une consistance pâteuse.

**Charbon de sucre.** On le prépare en calcinant le sucre. Il est très-spongieux; mais les parois des vacuoles qu'il contient sont fort compactes et brillantes; il en résulte que le charbon de sucre n'a que l'apparence d'un corps poreux et qu'il ne jouit pas de propriétés absorbantes. C'est du charbon très-pur.

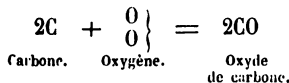
**Charbon des cornues à gaz.** Les gaz carburés qui se dégagent dans la préparation du gaz de l'éclairage se décomposent partiellement au contact de la paroi fortement chauffée de la cornue où s'opère la distillation de la houille. Il se dépose sur cette paroi un charbon très-compacte, très-dur, jouissant de l'éclat métallique et bon conducteur de la chaleur et de l'électricité. Ce charbon est employé dans la fabrication de certaines espèces de piles électriques (piles de Bunsen).

#### COMBINAISONS DU CARBONE AVEC LES MÉTALLOÏDES PRÉCÉDEMMENT ÉTUDIÉS.

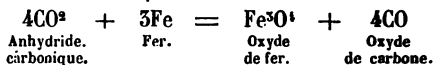
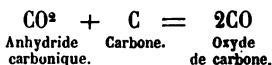
Les combinaisons du carbone avec le chlore, le brome, l'iode et l'hydrogène seront étudiées en chimie organique; nous nous arrêterons seulement ici sur les composés que le carbone forme avec l'oxygène et le soufre.

**Oxyde de carbone.** — L'oxyde de carbone s'obtient :

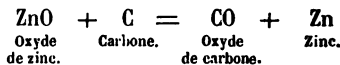
1° En brûlant le carbone dans une quantité d'oxygène insuffisante :



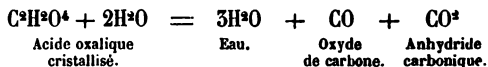
2° En décomposant l'anhydride carbonique, soit par le carbone, soit par le fer chauffé au rouge :



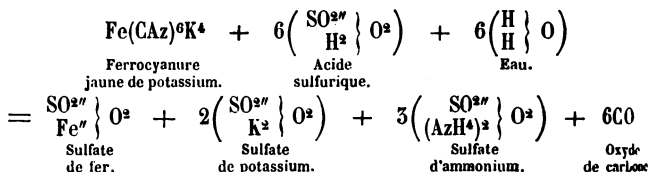
3° En décomposant par le charbon un oxyde difficilement réductible, comme l'oxyde de zinc :



4° En décomposant l'acide oxalique par les corps avides d'eau, comme l'acide sulfurique concentré. L'oxyde de carbone se trouve alors mêlé avec de l'anhydride carbonique, dont on le débarrasse en lui faisant traverser un flacon plein d'une solution de potasse :



5° En chauffant une partie de ferrocyanure jaune de potassium avec 3 parties d'acide sulfurique.

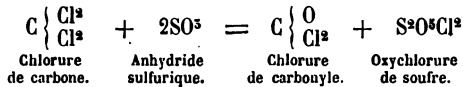


L'oxyde de carbone est un gaz permanent, sans odeur ni saveur, incolore, à peine soluble dans l'eau et d'une densité de 0,967.

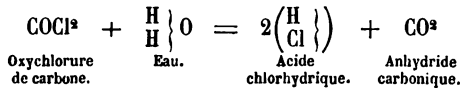
Il brûle à l'air avec une flamme bleuâtre, en produisant de l'anhydride carbonique. Deux volumes d'oxyde de carbone consommé, pour se transformer en anhydride carbonique, un volume d'oxygène, et l'anhydride carbonique produit occupe deux volumes. Si l'on suppose connue la composition du gaz carbonique, on peut en déduire la composition de l'oxyde de carbone. En effet, on connaît le poids de carbone contenu dans un volume donné d'anhydride carbonique. Cette quantité étant la même que celle qui fait partie d'un égal volume d'oxyde de carbone, il suffit de la retrancher du poids total de ce gaz pour connaître le poids de l'oxygène, qui se trouve ainsi déterminé par différence,

La tendance qu'a l'oxyde de carbone à absorber l'oxygène en fait un puissant réducteur.

Au soleil, ce gaz se combine au chlore et donne naissance à un oxychlorure (chlorure de carbonyle)  $\text{COCl}_2$ , qu'on peut aussi préparer en traitant le chlorure de carbone par l'anhydride sulfurique.



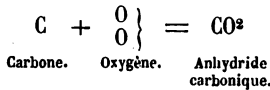
L'oxychlorure de carbone forme un liquide très-volatil, bouillant à  $+ 8^\circ$ , d'une odeur suffocante ; il se décompose au contact de l'eau en acide chlorhydrique et anhydride carbonique :



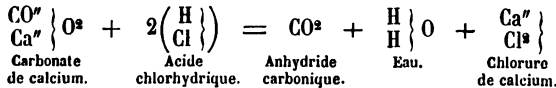
L'oxyde de carbone est un gaz fort vénéneux.

**Anhydride carbonique**  $\text{CO}^{\text{a}}$ . On obtient l'anhydride carbonique :

1° En brûlant le charbon dans un excès d'oxygène :



2° En décomposant un carbonate par l'acide chlorhydrique. On choisit généralement le carbonate de calcium.

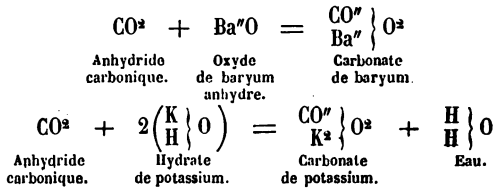


L'anhydride carbonique est gazeux à la température et sous la pression ordinaires. Il se liquéfie sous une pression de 36 atmosphères. Lorsqu'on projette de l'anhydride carbonique liquide dans l'atmosphère, une partie s'y vaporise instantanément et absorbe pour cela une telle quantité de chaleur qu'une autre partie passe à l'état solide. Pour recueillir cette dernière, on dirige le jet liquide dans une demi-sphère creuse de métal ou dans un petit sac en étoffe. On peut conserver l'anhydride carbonique solide pendant quelque temps, sans qu'il reprenne l'état gazeux. Pressé entre les doigts,

il désorganise la peau à la manière d'un corps chaud. Lorsqu'on le mêle à de l'éther et qu'on place le mélange sous le récipient d'une machine pneumatique où l'on fait le vide, la température s'abaisse jusqu'à 100° au-dessous de 0.

Le gaz carbonique a une densité de 1,529; on peut le transvaser dans l'air à la manière d'un liquide.

L'eau dissout son volume de ce gaz, mais ne se combine pas avec lui pour former un acide; par contre, l'anhydride carbonique s'unit directement aux anhydrides basiques pour former des sels. Il se combine également aux bases; la production d'un sel est alors accompagnée de celle d'une molécule d'eau :



L'anhydride carbonique perd la moitié de son oxygène lorsqu'on le fait passer sur du fer ou sur du charbon chauffé au rouge. L'étincelle électrique le décompose aussi en oxyde de carbone et oxygène; cette décomposition n'est pas complète et il s'établit, au bout d'un certain temps, un équilibre entre l'acide carbonique et ses produits de dédoublement.

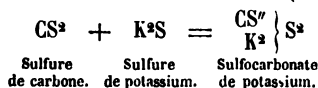
Le gaz carbonique ne brûle pas et n'entretient pas en général la combustion; le potassium et le magnésium brûlent cependant dans l'acide carbonique, s'emparent de son oxygène et mettent du carbone en liberté. Il n'entretient pas non plus la respiration, mais il n'est pas à beaucoup près aussi vénéneux que l'oxyde de carbone. En l'injectant dans les diverses cavités du corps on produit l'anesthésie locale.

Lorsqu'on brûle du charbon dans l'oxygène pur, de façon à transformer entièrement ce dernier en anhydride carbonique, on observe que le volume gazeux ne varie pas. Si donc, du poids d'un volume donné d'anhydride carbonique on retranche celui d'un égal volume d'oxygène, la différence exprimera le poids du carbone que ce gaz renferme.

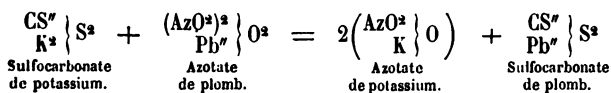
M. Dumas préfère opérer de manière à bannir toute appréciation de volume.

Il brûle une quantité connue de carbone pur (diamant) dans un courant de gaz oxygène pur, et il fait ensuite passer les gaz dans des tubes pleins de potasse préalablement pesés et destinés à absorber l'anhydride carbonique. En pesant de nouveau ces tubes après l'opération, on détermine le poids de l'anhydride carbonique formé, et en en retranchant le poids du carbone brûlé, on connaît l'oxygène par différence.

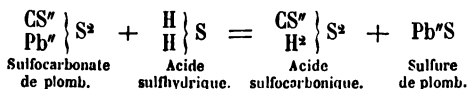
**Sulfure de carbone CS<sup>2</sup>.** Le sulfure de carbone s'obtient en faisant passer du soufre en vapeur sur du carbone chauffé au rouge. C'est un corps liquide extrêmement réfringent, d'une densité de 1,272, volatil à 46°, d'une odeur fétide. Il brûle à l'air avec une flamme peu éclairante, en donnant de l'anhydride carbonique et de l'anhydride sulfureux. C'est un excellent dissolvant de l'iode, du soufre et du phosphore. Il se combine aux sulfures alcalins (sulfures de potassium ou de sodium), et forme des sulfosels.



La solution de ces sulfosels alcalins est précipitée par les sels solubles de plomb, avec formation de sulfocarbonate de plomb.



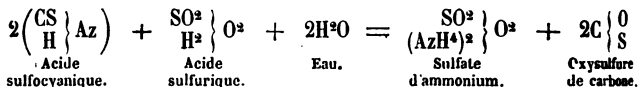
Enfin le sulfosel plombique, mis en digestion dans de l'eau que l'on fait traverser par un courant d'acide sulfhydrique, se décompose en sulfure de plomb et en sulfacide, l'acide sulfcarbonique :



Le sulfure de carbone est utilisé dans les fabriques de caoutchouc. Il sert à ramollir ce corps; ses vapeurs, fort délétères, produisent chez les ouvriers qui les respirent des accidents nerveux graves.

**Oxysulfure de carbone C<sup>1''</sup>  $\left\{ \begin{array}{c} \text{O}'' \\ \text{S}'' \end{array} \right\}$ .** Ce corps, qui est intermédiaire entre l'acide carbonique et le sulfure de carbone, s'obtient lorsqu'on traite le sulfocyanate de potassium par l'acide sulfu-

rique étendu : il se forme de l'acide sulfocyanique que l'acide sulfurique dédouble en sulfate ammonique et en oxy sulfure de carbone.

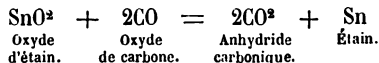


C'est un gaz incolore, d'une odeur particulière et brûlant à l'air avec une flamme bleue en donnant les anhydrides carbonique et sulfureux. L'eau le dissout et le décompose en acide carbonique et hydrogène sulfuré.

### ÉTAIN Sn.

Poids atomique = 118.      Poids moléculaire inconnu.

L'étain se trouve dans la nature à l'état d'oxyde mêlé de sulfure et d'arséniosulfure. On grille d'abord le minerai au contact de l'air afin de tout transformer en oxyde; puis on le mêle intimement avec du charbon, et on le chauffe. Le charbon se convertit alors en oxyde de carbone, et celui-ci réduit l'oxyde d'étain à l'état d'étain métallique.



L'étain de Malacca est à peu près pur.

L'étain est d'un blanc d'argent; il est mou et très-malléable; il a une constitution cristalline que l'on peut mettre en évidence en attaquant sa surface par un acide. Les cristaux mis à nu donnent lieu au phénomène des anneaux colorés. C'est ainsi que l'on fait le moiré métallique.

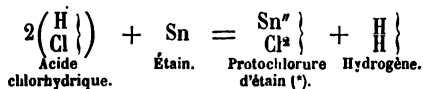
L'étain ne peut être pulvérisé directement, mais on l'obtient en poudre en le fondant et l'agitant fortement pendant qu'il se refroidit.

L'étain fond à 228°; il se conserve indéfiniment à l'air lorsqu'il est froid; mais il s'oxyde facilement lorsqu'il est fondu, et au rouge il brûle avec une flamme très-éclairante, en donnant naissance à de l'anhydride stannique SnO<sup>2</sup>.

Les corps oxydants, tels que l'acide azotique ou l'azotate de po-

tassium, attaquent également l'étain en produisant soit de l'acide métastannique  $\text{Sn}^{\text{H}}\text{O}^{15}$ , polymère de l'acide stannique  $\text{SnH}^{\text{O}}_5$ , soit du stannate de potassium  $\text{SnK}^{\text{O}}_3$ .

L'étain s'unit directement au phosphore, au soufre, au chlore, au brome et à l'iode. L'acide chlorhydrique le dissout en dégageant de l'hydrogène et formant du protochlorure d'étain :

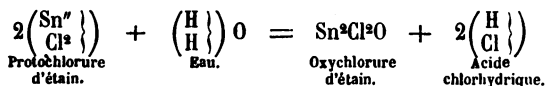


Différent en cela de tous les métalloïdes que nous avons étudiés jusqu'ici, l'étain forme avec l'oxygène un oxyde  $\text{SnO}$ , qui est un véritable anhydride basique, susceptible de se combiner directement aux anhydrides acides et aux acides, avec élimination d'eau, en donnant naissance à des sels.

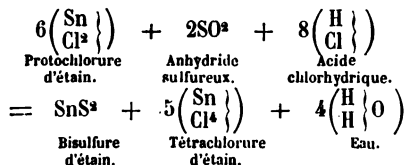
COMBINAISONS DE L'ÉTAIN AVEC LES MÉTALLOÏDES PRÉCÉDEMMENT ÉTUDIÉS.

**Protochlorure d'étain** (bichlorure d'étain)  $\text{SnCl}_2$ . On obtient ce composé en dissolvant l'étain dans l'acide chlorhydrique. C'est un corps solide, cristallisé et volatil au rouge sombre.

L'eau le décompose en acide chlorhydrique et oxychlorure d'étain  $\text{Sn}^{\text{H}}\text{Cl}^{\text{H}}\text{O}$ .



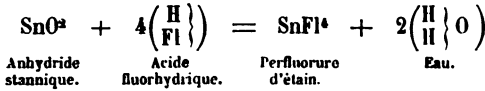
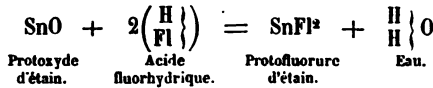
La solution de protochlorure d'étain, chauffée en présence de l'acide chlorhydrique et de l'anhydride sulfureux, donne lieu à un dépôt jaune de bisulfure d'étain :



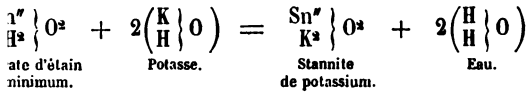
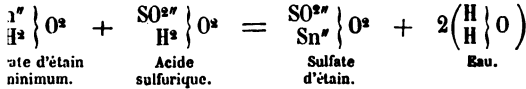
(\*) La désinence *proto*, placée avant chlorure, n'indique pas, comme le ferait la désinence *mono*, que le composé contient un seul atome de chlore, mais que c'est le moins chloruré de tous les composés que peut former l'étain, qu'il représente le premier degré de chloruration de l'étain.



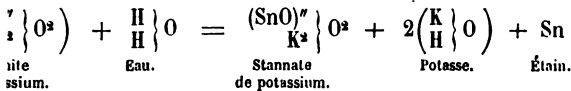




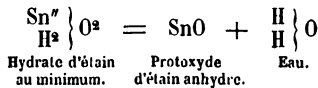
**oxyde d'étain.** Lorsqu'on précipite du protochlorure d'étain la potasse, on obtient de l'hydrate stanneux  $\left. \begin{array}{c} \text{Sn}^n \\ \text{H}^2 \end{array} \right\} \text{O}^2$ . Ce st blanc et insoluble dans l'eau. Il peut jouer le rôle de l'est-à-dire faire la double décomposition avec les acides ; de l'acide, c'est-à-dire faire la double décomposition, avec s :



La solution aqueuse de stannite de potassium, abandonnée dans l'eau, dépose des cristaux noirs d'oxyde d'étain anhydre qui décolorent quand on les chauffe et se transforment en petites lames d'olive. La même solution, soumise à l'action de la chaleur, se transforme en stannate de potassium et en étain qui se précipite :



Le résidu d'étain au minimum, bouilli avec un excès d'ammoniac dans l'eau, et il reste du protoxyde d'étain anhydre de l'olive :



Lorsqu'on précipite le protochlorure d'étain par un excès d'ammoniac

moniaque, que l'on fait bouillir pendant un moment, et que l'on dessèche la masse sans séparer le chlorhydrate d'ammoniaque formé, on obtient du protoxyde d'étain d'un beau rouge. Cet oxyde prend une couleur olive lorsqu'on le frotte avec un corps dur.

Le protoxyde d'étain est donc polymorphe, et des trois formes qu'il peut affecter, la plus stable est celle qui présente une couleur olive.

Les sels que forme le protoxyde d'étain avec les acides se reconnaissent aux caractères suivants.

1° L'eau les décompose en formant un sous-sel insoluble, tandis qu'une certaine quantité d'acide devenu libre maintient en dissolution une autre partie du sel non décomposé ;

2° La potasse y détermine la formation d'un précipité soluble dans un excès de réactif, mais qui se dépose de nouveau, lorsqu'on expose cette solution dans le vide ;

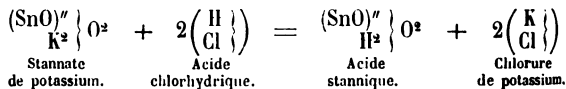
3° Le chlorure d'or produit dans la solution de ces sels un précipité de couleur pourpre (pourpre de Cassius) ;

4° Le chlorure mercurique donne un précipité blanc de chlorure mercurieux, qui noircit sous l'influence d'un excès de sel stanneux, en se transformant en mercure métallique.

5° L'acide sulfhydrique y fait naître un précipité brun, soluble dans le sulfhydrate d'ammoniaque jaune et l'acide chlorhydrique bouillant, mais insoluble dans l'ammoniaque.

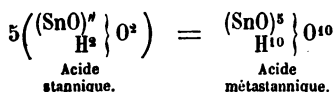
**Anhydride stannique**  $\text{SnO}_2$  (*Acides stannique et métastannique*). L'anhydride stannique prend naissance lorsqu'on calcine fortement les acides stannique ou métastannique. Il constitue une masse blanche, insoluble dans l'eau et susceptible de donner des stannates lorsqu'on la chauffe avec un excès de potasse ou de soude.

**Acide stannique**  $\left\{ \begin{matrix} (\text{SnO})'' \\ \text{H}_2 \end{matrix} \right\} \text{O}^2$ . Cet acide n'est autre que le premier anhydride de l'acide inconnu  $\left\{ \begin{matrix} \text{Sn}'' \\ \text{H}_2 \end{matrix} \right\} \text{O}^4$ . Il s'obtient en précipitant les stannates par l'acide chlorhydrique :

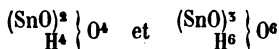


C'est un corps blanc, gélatineux, soluble dans les acides azotique et sulfurique étendus.

Sous l'influence d'une légère chaleur, il se transforme en son polymère, l'acide métastannique :



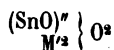
On a encore décrit les acides stanniques.



Tous ces acides ont, comme on voit, une grande analogie avec les acides polysiliciques.

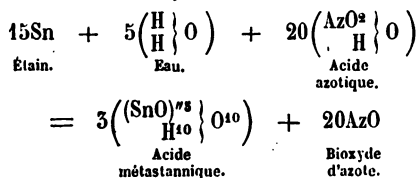
Au rouge, il perd son eau et se transforme en anhydride stannique.

Il se combine aux bases en donnant des sels dont la formule est :



**Acide métastannique**  $\left( \begin{array}{c} (\text{SnO})^5 \\ \text{H}^{10} \end{array} \right) \text{O}^{10}$ . C'est le premier anhydride de l'acide pentastannique inconnu  $\left( \begin{array}{c} (\text{SnO})^5 \\ \text{H}^{12} \end{array} \right) \text{O}^{12}$ .

On l'obtient en chauffant l'étain avec de l'acide azotique :



L'acide métastannique est un corps blanc, cristallin, insoluble dans l'eau, ainsi que dans les acides azotique et sulfurique étendus ; il se dissout dans l'acide chlorhydrique et dans l'acide sulfurique concentré. L'eau ne le précipite pas de ces solutions.

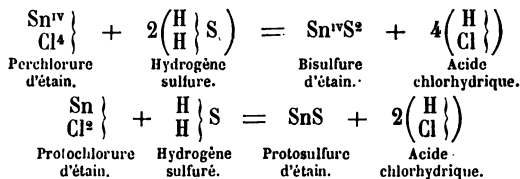
L'acide métastannique est insoluble dans l'ammoniaque lorsqu'il a été préparé au moyen de l'acide azotique. Mais si on le précipite de la solution d'un de ses sels au moyen d'un acide, il se dissout très-bien dans cet alcali.

Il forme avec les bases des sels qui ont pour formule :

$(\text{SnO})^{\text{e}}$  }  $\text{H}^{\text{s}}$  }  $\text{O}^{10}$ . Chauffés avec un excès de base, ces sels se transforment en stannates.

**Sulfures d'étain.** Il existe deux sulfures d'étain : un protosulfure,  $\text{SnS}$ , et un bisulfure,  $\text{SnS}^2$ .

Tous deux peuvent s'obtenir en faisant passer un courant d'hydrogène sulfuré dans les chlorures correspondants :



On peut aussi préparer le bisulfure d'étain en chauffant un mélange de 12 parties d'étain amalgamé avec 6 parties de mercure, de 7 parties de soufre et de 6 parties de chlorure d'ammonium, jusqu'à évaporation complète du mercure et du chlorure d'ammonium.

Ainsi préparé, le bisulfure d'étain prend le nom d'or musif. Les deux sulfures d'étain peuvent s'unir aux sulfures alcalins en produisant des sulfosels.

## ZIRCONIUM, TITANE, THORIUM.

Ces corps sont trop rares et trop peu importants pour être étudiés en détail dans cet ouvrage. Leurs propriétés les placent à côté des métalloïdes précédents.

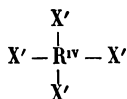
### GÉNÉRALITÉS SUR LES MÉTALLOÏDES TÉTRATOMIQUES.

Les corps simples de cette famille étant tétratomiques, doivent pouvoir se combiner au plus avec quatre radicaux monatomiques en formant des composés qui répondent à la formule  $\text{R}^{\text{IV}} \text{X}^4$ . De plus, comme les radicaux polyatomiques ont la faculté de s'accumuler dans les molécules, les corps simples de cette famille peuvent former avec les radicaux monatomiques un nombre indéfini de

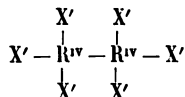
és contenant une quantité de ces derniers inférieure à quatre pour un du corps tétratomique.

Prenons, par exemple, un atome tétratomique par R<sup>IV</sup> et un monatomique par X', nous pourrions concevoir :

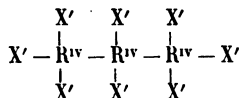
l'un atome tétratomique soit saturé par quatre atomes monomériques :



si les deux atomes tétratomiques soient saturés par six atomes monomériques, les deux atomes tétratomiques se saturant en partant l'un des autres :



si les trois atomes tétratomiques soient saturés par huit atomes monomériques :



Il est évident, par conséquent, que tout groupe formé par un nombre quelconque d'atomes tétratomiques exige pour sa saturation un nombre d'atomes monomériques égal au double du nombre d'atomes tétratomiques + 2. Ainsi, en désignant par R le radical tétratomique et par X le radical monatomique, on aura pour tous les composés possibles entre ces deux radicaux la formule générale  $R_n X_{2n+2}$  sans qu'on puisse fixer jusqu'à aujourd'hui quelles sont les valeurs de n (\*).

Et tout corps saturé peut perdre une partie de ses éléments au moment de sa naissance à des molécules incomplètes, on conçoit, en effet, que chacun des composés correspondant à la formule générale

\* Il est évident, en effet, qu'un corps puisse exister, en effet, il ne suffit pas que les atomes situés possèdent le nombre de centres d'attraction sans lesquels il serait impossible; il faut encore des forces électives qui puissent assurer la stabilité du groupement. Si, par exemple, trois atomes tétratomiques

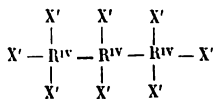
rale qui précède puisse perdre successivement 1, 2, 3, 4, 5.....n molécules de l'élément monatomique, en donnant naissance à de nouveaux composés non saturés. (Ces nouveaux corps ont été nommés anhydrogénides par M. Lourenço, lorsque l'élément monatomique qu'ils ont perdu est l'hydrogène.)

Entre le carbone et l'hydrogène, par exemple, tous les composés qui suivent sont théoriquement possibles.

COMPOSÉS SATURÉS.		COMPOSÉS NON SATURÉS.					
C H <sup>4</sup>	C H <sup>2</sup>	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	
C <sup>2</sup> H <sup>6</sup>	C <sup>2</sup> H <sup>4</sup>	C <sup>2</sup> H <sup>2</sup>	. . .	. . .	. . .	. . .	
C <sup>3</sup> H <sup>8</sup>	C <sup>3</sup> H <sup>6</sup>	C <sup>3</sup> H <sup>4</sup>	C <sup>3</sup> H <sup>2</sup>	. . .	. . .	. . .	
C <sup>4</sup> H <sup>10</sup>	C <sup>4</sup> H <sup>8</sup>	C <sup>4</sup> H <sup>6</sup>	C <sup>4</sup> H <sup>4</sup>	C <sup>4</sup> H <sup>2</sup>	. . .	. . .	
C <sup>5</sup> H <sup>12</sup>	C <sup>5</sup> H <sup>10</sup>	C <sup>5</sup> H <sup>8</sup>	C <sup>5</sup> H <sup>6</sup>	C <sup>5</sup> H <sup>4</sup>	C <sup>5</sup> H <sup>2</sup> - <sub>2n</sub>	. . .	
C <sup>6</sup> H <sup>14</sup>	C <sup>6</sup> H <sup>12</sup>	C <sup>6</sup> H <sup>10</sup>	C <sup>6</sup> H <sup>8</sup>	C <sup>6</sup> H <sup>6</sup>	C <sup>6</sup> H <sup>4</sup> - <sub>2n</sub>	. . .	
C <sup>7</sup> H <sup>16</sup>	C <sup>7</sup> H <sup>14</sup>	C <sup>7</sup> H <sup>12</sup>	C <sup>7</sup> H <sup>10</sup>	C <sup>7</sup> H <sup>8</sup>	C <sup>7</sup> H <sup>6</sup> - <sub>2n</sub>	. . .	
C <sup>8</sup> H <sup>18</sup>	C <sup>8</sup> H <sup>16</sup>	C <sup>8</sup> H <sup>14</sup>	C <sup>8</sup> H <sup>12</sup>	C <sup>8</sup> H <sup>10</sup>	C <sup>8</sup> H <sup>8</sup> - <sub>2n</sub>	. . .	
C <sup>9</sup> H <sup>20</sup>	C <sup>9</sup> H <sup>18</sup>	C <sup>9</sup> H <sup>16</sup>	C <sup>9</sup> H <sup>14</sup>	C <sup>9</sup> H <sup>12</sup>	C <sup>9</sup> H <sup>10</sup> - <sub>2n</sub>	. . .	
C <sup>10</sup> H <sup>22</sup>	C <sup>10</sup> H <sup>20</sup>	C <sup>10</sup> H <sup>18</sup>	C <sup>10</sup> H <sup>16</sup>	C <sup>10</sup> H <sup>14</sup>	C <sup>10</sup> H <sup>12</sup> - <sub>2n</sub>	. . .	
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	
C <sup>n</sup> H <sup>2n+2</sup>	C <sup>n</sup> H <sup>2n</sup>	C <sup>n</sup> H <sup>2n-2</sup>	C <sup>n</sup> H <sup>2n-4</sup>	C <sup>n</sup> H <sup>2n-6</sup>	C <sup>n</sup> H <sup>2n-6-2n</sup>	. . .	

On conçoit également une série de composés analogues, entre le carbone et les radicaux monatomiques simples ou composés, autres que l'hydrogène; et des séries semblables dans lesquelles, au lieu de carbone, figureraient les autres métalloïdes tétratomiques. c'est-à-dire le silicium, le zirconium, l'étain et le titane.

ques et huit atomes monatomiques avaient moins de tendance à former une molécule unique de la forme



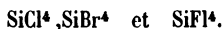
qu'à former trois molécules de la forme R<sup>IV</sup>{≡}R<sup>IV</sup>; 2(X' - X') et X' - R<sup>IV</sup> - X'



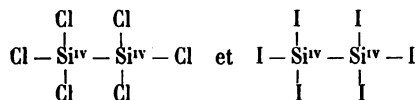
il est évident que le groupement R<sup>IV</sup>X<sup>IV</sup> ne se produirait jamais.

En fait, cette série n'est connue un peu complètement que pour le carbone, dont on peut préparer la plupart des combinaisons hydrogénées inscrites sur la table qui précède, ainsi que les composés chlorés, et les composés bromés correspondants.

Pour le silicium, on connaît l'hydrogène silicié  $\text{SiH}^4$ , les tétrachlorure, tétrabromure, tétraiodure et tétrafluorure de silicium :



et les hexachlorure et hexaïodure de silicium :



Avec l'étain on n'a pu préparer jusqu'ici aucun composé hydrogéné non plus qu'avec le zirconium et le titane. On connaît les chlorures, bromures et fluorures d'étain,  $\text{SnCl}^2, \text{SnCl}^4; \text{SnBr}^2, \text{SnBr}^4;$  et  $\text{SnFl}^2, \text{SnFl}^4$ ; on connaît aussi un chlorure de zirconium  $\text{ZrCl}^4$ ; les deux chlorures saturés de titane,  $\text{TiCl}^4$  et  $\text{Ti}^2\text{Cl}^6$  et le fluorure du même corps  $\text{TiFl}^4$ .

Tous les métalloïdes de cette famille peuvent s'unir aux métalloïdes diatomiques. Chacun d'eux forme deux oxydes et deux sulfures, qui répondent aux formules  $\text{R}^{\text{iv}}\text{X}^{\text{ii}}$  et  $\text{R}^{\text{iv}}\text{X}^{\text{ii}2}$ . Toutefois le protoxyde de silicium n'est pas connu avec certitude et l'on ne connaît pas du tout le protoxyde de zirconium, et les protosulfures de carbone et de titane. En revanche, on a préparé un sesquioxyde de titane,  $\text{Ti}^2\text{O}^3$  correspondant au chlorure,  $\text{Ti}^2\text{Cl}^6$ .

Les sulfures de ces corps peuvent tous donner naissance à des sulfosels en se combinant aux sulfures alcalins.

Les bioxydes sont tous des anhydrides acides, ceux de zirconium et de thorium peuvent toutefois jouer le rôle d'anhydride basique. Quant aux protoxydes, ils remplissent, tantôt la fonction d'anhydride basique, tantôt la fonction d'anhydride basique et d'anhydride acide en même temps, tantôt, enfin, ils ne remplissent ni l'une ni l'autre de ces fonctions.

## CINQUIÈME FAMILLE (MÉTALLOÏDES PENTATOMIQUES).

—

**A Z O T E**  $\left. \begin{array}{l} \text{Az} \\ \text{Az} \end{array} \right\}$

Poids atomique = 14.    Poids moléculaire = 28.

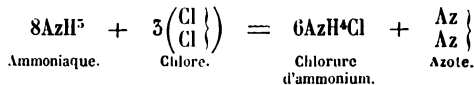
L'azote constitue les  $\frac{4}{5}$  environ de l'air atmosphérique; on le prépare :

1° En abandonnant du phosphore à la température ordinaire dans une cloche pleine d'air, jusqu'à ce que le volume gazeux ne diminue plus, ce qui indique que tout l'oxygène est absorbé.

2° En faisant brûler du phosphore sous une cloche pleine d'air et placée sur une cuve à eau; l'anhydride phosphorique qui prend naissance aux dépens de l'oxygène de l'air se dissout dans l'eau à l'état d'acide métaphosphorique, et il reste dans la cloche de l'azote à peu près pur.

3° En faisant passer un courant d'air un peu lent à travers un tube chauffé au rouge sombre et plein de tournure de cuivre; l'oxygène se fixe sur le métal et le gaz qui sort de l'appareil est de l'azote pur, que l'on peut recueillir dès que l'air qui remplit le tube de dégagement a été expulsé.

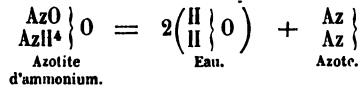
4° En faisant agir le chlore sur l'ammoniaque en solution aqueuse :



On opère généralement en faisant passer un courant de chlore gazeux dans un flacon de Woulf à trois tubulures à moitié rempli d'ammoniaque, et en recueillant le gaz qui sort du flacon. On doit avoir grand soin de maintenir l'ammoniaque toujours en grand excès; sinon la réaction du chlore sur le chlorure d'ammonium donnerait naissance à du chlorure d'azote, corps très-détonant, qui pourrait occasionner des accidents graves.

5° En faisant bouillir une solution d'azote d'ammonium; il se produit de l'eau et de l'azote libre :





L'azote est un gaz permanent, incolore, inodore et insipide. Sa densité est de 0,972 ; l'eau n'en dissout que  $\frac{1}{50}$  de son volume.

L'azote ne brûle ni n'entretient la combustion. Les animaux et les plantes y meurent, bien que ce gaz ne soit pas vénéneux, et seulement parce qu'ils y sont privés d'oxygène.

L'azote ne se combine directement à l'oxygène que lorsque ce dernier corps a été préalablement transformé en ozone, soit à l'aide de l'étincelle électrique, soit par tout autre moyen. Encore la présence d'une base puissante paraît-elle nécessaire pour que la combinaison se fasse.

L'azote se combine directement au bore et au titane à la chaleur rouge.

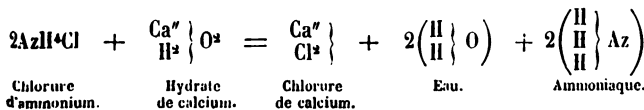
Il se combine également à cette température avec le carbone, lorsque ce corps a été préalablement mêlé à du carbonate de potassium ou de sodium. Il se forme dans ce cas un composé qui a pour formule CAzK, le *cyanure de potassium*.

L'hydrogène ne se combine à l'azote qu'indirectement.

Dans certaines mines, il se produit de l'azote pur, par suite de l'absorption de l'oxygène par le sulfure de fer et le sulfure de cuivre qui s'y trouvent.

COMBINAISONS DE L'AZOTE AVEC LES MÉTALLOÏDES  
PRÉCÉDEMMENT ÉTUDIÉS.

**Ammoniaque** AzH<sup>3</sup>. Lorsqu'on calcine les matières organiques azotées ou qu'on les abandonne à la putréfaction ; ou, d'une manière plus générale, toutes les fois que l'azote et l'hydrogène se rencontrent à l'état naissant en présence d'un acide, il se produit des sels qui répondent à la formule AzH<sup>4</sup>R, R étant un genre salin quelconque. Ces sels distillés en présence d'une base mettent en liberté de l'ammoniaque à l'état de gaz :



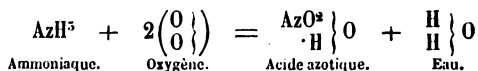
On fait traverser par le gaz un tube plein de potasse caustique en fragments qui absorbe l'eau formée dans la réaction précédente, et on le recueille ensuite dans une cloche placée sur la cuve à mercure.

L'ammoniaque est gazeuse à la température et sous la pression ordinaire, mais un froid considérable, ou une forte pression la liquéfient ; on peut même l'obtenir sous forme d'une substance solide, blanche, translucide et fusible à  $-75^{\circ}$ .

A l'état gazeux, l'ammoniaque est incolore et d'une odeur piquante, sa densité est de 0,591. L'eau en dissout environ 500 fois son volume.

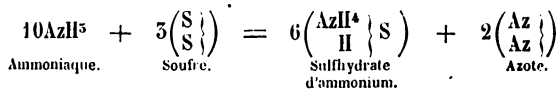
A la température du rouge sombre, ou sous l'influence d'une série très-nombreuse d'étincelles électriques, le gaz ammoniac se décompose en ses éléments ; on observe, dans ce cas, que le volume gazeux augmente de moitié.

Le gaz ammoniac éteint les corps en combustion. Il ne brûle pas à l'air, mais il brûle dans l'oxygène pur, avec une flamme jaune, en donnant naissance à de l'eau et à de l'azote libre ; si l'on dirige un mélange de gaz ammoniac et d'oxygène sur une éponge de platine, il se produit de l'eau et de l'acide azotique :

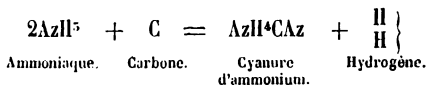


Le chlore et le brome réagissent sur l'ammoniaque en donnant des acides chlorhydrique ou bromhydrique et de l'azote libre. Avec l'iode on obtient un composé détonant.

Le soufre réagit à une haute température sur l'ammoniaque et produit du sulfhydrate d'ammonium et de l'azote libre :

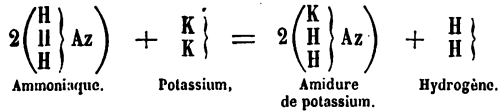


Au rouge, le charbon transforme l'ammoniaque en cyanure d'ammonium :



Les métaux alcalins, chauffés dans un courant de gaz ammoniac, se substituent à un atome de l'hydrogène que renferme ce corps

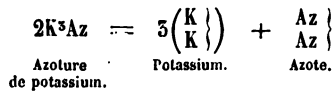
et donnent des composés connus sous le nom d'amidures :



Sous l'influence d'une plus forte chaleur, ces produits se dédoublent en ammoniaque ordinaire et azoture trimétallique :



Enfin, à une température encore plus élevée, ces azotures se scindent en métal et azote libre :



Le gaz ammoniac bleuit la teinture de tournesol rougie et se combine directement aux acides en formant des sels. Cette propriété tient à la pentatomicité de l'azote, qui tend à se saturer en formant des composés du type  $\text{AzX}^5$ . Le gaz ammoniac se combine également aux anhydrides acides. Mais les produits engendrés de la sorte ne jouissent d'aucune des propriétés qui caractérisent les sels. (Voy. *Amides*.)

Les sels ammoniacaux présentent les plus grandes analogies, soit dans leurs formes cristallines, soit dans leurs réactions, avec les sels alcalins. On peut faire ressortir ces analogies en admettant dans ces sels le groupe  $\text{AzH}^4$  (ammonium), qui fonctionne comme un radical composé monatomique électropositif. Toutes les objections que l'on a faites à cette hypothèse ont perdu leur valeur devant la théorie de l'atomicité des éléments.

Si l'on décompose le sel ammoniac par la pile en présence du mercure, en faisant plonger l'électrode négatif dans ce liquide, on voit le mercure se boursouffler considérablement. Soumet-on à la distillation la masse pâteuse qui se forme, elle se décompose en mercure, ammoniaque et hydrogène. On remarque, de plus, que pour une molécule d'ammoniaque qui devient libre, il se dégage un

atome d'hydrogène. La pile décompose donc le chlorure d'ammonium  $AzH^4,Cl$  en chlore et ammonium ( $AzH^4$ ), comme elle décompose le chlorure de sodium en chlore et en sodium, et si l'ammonium ne reste pas isolé lorsqu'on évapore le mercure, c'est uniquement parce qu'il est instable à l'état de liberté.

On peut encore obtenir le composé mercuriel précédent en décomposant le chlorure d'ammonium par l'amalgame de potassium ou de sodium, le métal alcalin déplace alors directement l'ammonium. Ce composé mercuriel doit donc être considéré comme un amalgame d'ammonium.

La solution aqueuse d'ammoniaque est très-employée; on l'obtient en faisant passer un courant de gaz ammoniac dans un appareil de Woulf. Elle a reçu le nom d'ammoniaque liquide. Lorsqu'on la chauffe, le gaz qu'elle renferme se dégage en totalité.

En médecine, on emploie l'ammoniaque liquide pour produire des vésications rapides; on l'administre également à l'intérieur contre l'ivresse, à la dose de quelques gouttes. On l'a conseillée contre le croup.

L'acétate d'ammonium (esprit de Mindérérus) réussit très-bien comme excitant et comme emménagogue.

**Chlorure, bromure et iodure d'azote.** Lorsqu'on fait agir les sels ammoniacaux en solution aqueuse sur le chlore, il se forme un liquide dont la composition répond à la formule  $AzCl^3$ .

Ce liquide peut réagir sur le bromure de potassium en produisant un bromure d'azote  $AzBr^3$ .

L'iode libre réagit aussi sur l'ammoniaque en donnant un produit azoté. Ce produit paraît avoir une constitution variable, suivant son mode de préparation. Suivant M. Stahlschmidt, le composé obtenu par l'action d'une solution alcoolique d'iode sur l'ammoniaque aqueuse aurait pour formule  $AzI^3$ , et celui qu'on obtient en traitant une solution alcoolique d'iode par une solution alcoolique d'ammoniaque répondrait à la formule  $AzI^2H$ .

Le chlorure, le bromure et les iodures d'azote sont des corps extrêmement détonants, qu'il est dangereux de manier.

#### COMPOSÉS OXYGÉNÉS DE L'AZOTE.

Les composés oxygénés de l'azote sont :

L'oxyde azoteux (l'ancien protoxyde d'azote)  $Az^2O$ ;



devient assez visqueux pour ne point s'écouler lorsqu'on retourne le vase qui le contient.

L'oxyde azoteux est peu stable, il abandonne facilement son oxygène aux corps combustibles. Aussi la combustion des matières organiques, du soufre, du phosphore, de l'hydrogène, s'opère-t-elle dans ce gaz; elle y est même plus active que dans l'air, par suite de la plus grande proportion d'oxygène qu'il renferme. Un morceau de charbon brûle en tournoyant à la surface de l'oxyde azoteux liquide.

L'oxyde azoteux produit, lorsqu'on le respire, une espèce d'ivresse. Les premières personnes qui firent cette expérience, ayant éprouvé des accès de rire spasmodique, donnèrent à ce corps le nom de gaz hilarant. On l'a employé comme anesthésique.

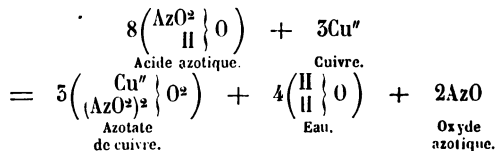
On peut analyser ce gaz en chauffant un volume connu dans une cloche courbe avec un globule de sodium. Le métal s'empare de l'oxygène et il reste un volume d'azote égal au volume de l'oxyde employé :

$$\begin{array}{r} \text{Or, si de la densité du protoxyde d'azote.} \quad . \quad 1,527 \\ \text{on retranche la densité de l'azote.} \quad . \quad . \quad 0,972 \\ \hline \text{il reste.} \quad . \quad . \quad 0,555 \end{array}$$

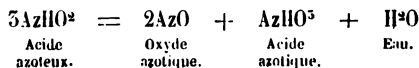
qui se rapproche beaucoup de la demi-densité de l'oxygène; deux volumes d'oxyde d'azoteux contiennent donc deux volumes d'azote et un volume d'oxygène unis avec condensation de  $\frac{1}{4}$ .

**Oxyde azotique** AzO. On peut préparer ce corps :

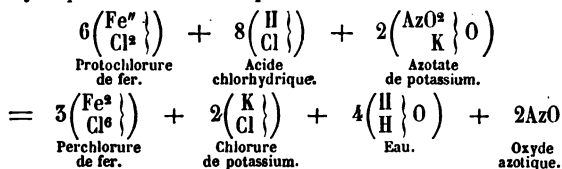
1° En faisant agir l'acide azotique sur le cuivre, dans un flacon à deux tubulures analogue à celui qui sert à préparer l'hydrogène :



2° En faisant agir un acide étendu sur un azotite. L'acide azoteux qui tend à se former se scinde en acide azotique et oxyde azotique :



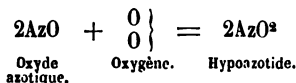
3° En chauffant un mélange de protochlorure de fer, d'acide chlorhydrique et d'azotate de potassium :



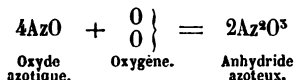
L'oxyde azotique est un gaz permanent, incolore; sa densité est de 1,059 : il se dissout dans 20 fois son volume d'eau.

L'oxyde azotique ne jouit ni de la propriété de produire un acide lorsqu'on le met en contact avec l'eau, ni de la propriété de donner des sels au contact des bases; ce n'est donc pas un anhydride acide.

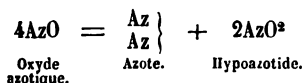
Ce gaz se combine directement à l'oxygène de l'air en produisant des vapeurs rutilantes d'hypoazotide :



Si la quantité d'oxygène que l'on fait intervenir n'est que de 1 volume pour 4 volumes d'oxyde d'azotique, il ne se produit plus de l'hypoazotide, mais bien de l'anhydride azoteux :



L'oxyde azotique se décompose à la chaleur rouge en hypoazotide et azote libre :



Il se dissout dans une solution de protosulfate de fer. Cette solution, qui est d'un vert clair, passe alors au rouge brun et se fonce de plus en plus à mesure que l'absorption fait des progrès; si l'on y verse ensuite de la potasse et qu'on chauffe, il se développe de l'ammoniaque, et le protoxyde de fer passe à l'état de sesquioxyde.

Les solutions de manganate et de permanganate de potassium absorbent aussi l'oxyde azotique.

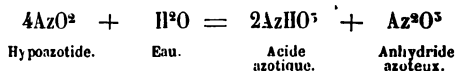
L'oxyde azotique entretient moins bien la combustion que l'oxyde azoteux. Toutefois les corps très-avides d'oxygène, comme le phosphore ou le charbon, y brûlent avec un vif éclat, lorsqu'on les y plonge préalablement enflammés.

On analyse l'oxyde azotique par le même procédé que l'oxyde azoteux. On trouve ainsi que 2 volumes de ce gaz renferment volumes égaux d'azote et d'oxygène unis sans condensation.

**Anhydride azoteux**  $Az^2O^3$  et **azotites**,  $AzMO^2$ . On prépare l'anhydride azoteux :

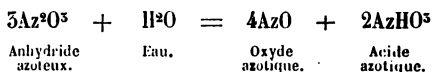
1° En faisant arriver dans un récipient refroidi un mélange de 4 volumes d'oxyde azotique et de 1 volume d'oxygène.

2° En décomposant l'hypoazotide par l'eau à une basse température :



L'anhydride azoteux constitue un liquide bleu très-mobile et très-instable, bouillant vers 0°.

En présence de l'eau et à la température ordinaire, il se décompose en oxyde azotique et acide azotique, selon l'équation :



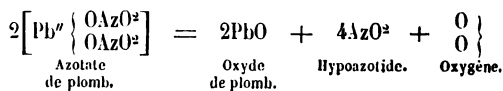
On obtient des azotites en chauffant les azotates. Les azotites de potassium et de sodium s'obtiennent surtout facilement par ce moyen. Ce sont des sels très-bien définis.

L'azotite d'ammonium se décompose par la plus faible chaleur en eau et en azote libre. L'analyse de l'anhydride azoteux n'a pu être faite directement, la composition de ce corps se déduit de celle des azotites.

**Hypoazotide**,  $AzO^2$  ou  $Az^2O^4$ . L'hypoazotide s'obtient :

1° En faisant passer un mélange de 2 volumes d'oxyde azotique et de 1 volume d'oxygène dans un récipient fortement refroidi.

2° En décomposant l'azotate de plomb absolument sec par la chaleur, et recevant les produits de décomposition dans un récipient refroidi :



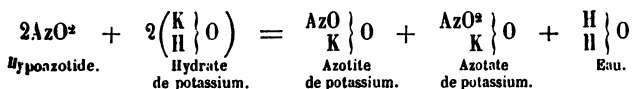


5° Lorsqu'on fait passer un grand nombre d'étincelles électriques à travers un mélange d'azote et d'oxygène secs ; dans cette réaction, il reste toujours mélangé avec un très-grand excès de gaz non combinés.

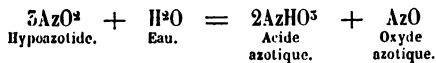
L'hypoazotide constitue un corps incolore, cristallisé au-dessous de  $-9^{\circ}$  ; au-dessus il affecte l'état liquide jusqu'à  $22^{\circ}$ , température à laquelle il entre en ébullition. Entre 0 et  $22^{\circ}$  degrés, la couleur de l'hypoazotide, qui était jaune fauve, se fonce de plus en plus ; sa vapeur est d'un rouge brun très-intense. La densité de cette vapeur est de 1,60, lorsqu'on la prend à  $150^{\circ}$  ; elle correspond alors à la formule  $AzO^2$  occupant 2 volumes. Mais, si l'on détermine la densité à des températures plus basses, on voit qu'elle augmente graduellement, et qu'au point d'ébullition, elle atteint presque un chiffre double. On en conclut qu'à basse température, l'hypoazotide possède une formule double :  $Az^2O^4$  occupant 2 volumes. Ce corps doublé est incolore ; mais il se dissocie à mesure que la température s'élève et fournit 2 molécules  $AzO^2$ , qui est très-coloré. Ainsi s'explique l'intensité de coloration toujours croissante avec la température et la diminution rapide de densité de vapeur.

L'hypoazotide rougit le papier de tournesol, mais cette action ne lui appartient pas ; elle est le résultat de sa décomposition par les bases que contient la teinture de tournesol.

Les bases et les anhydrides basiques transforment l'hypoazotide en un mélange d'azotate et d'azotite.



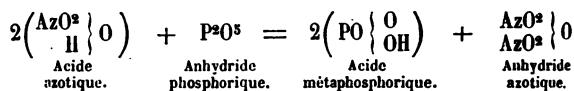
L'eau le décompose également en acide azotique et anhydride azoteux. Seulement nous avons vu qu'à cause de l'instabilité de ce dernier corps, il se produit à la température ordinaire de l'acide azotique et de l'oxyde azotique. L'équation définitive est la suivante :



On peut analyser l'hypoazotide en pesant une certaine quantité de cette substance, la réduisant en vapeur et faisant passer cette vapeur sur la tournure de cuivre chauffée au rouge. L'oxygène se fixe sur le métal, et l'azote devenu libre est recueilli dans une éprou-

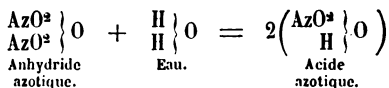
vette graduée, où on le mesure ; l'oxygène est dosé par différence.

**Anhydride azotique,**  $\left. \begin{array}{l} \text{AzO}^2 \\ \text{AzO}^2 \end{array} \right\} \text{O}$ . L'anhydride azotique, inconnu pendant longtemps, a été obtenu par M. Deville. Ce chimiste l'a préparé en faisant passer un courant de chlore absolument sec sur de l'azotate d'argent également desséché et porté à la température de 95°. On l'obtient encore par déshydratation directe de l'acide azotique en introduisant peu à peu de l'anhydride phosphorique dans de l'acide azotique très-concentré et refroidi à 0°, et distillant ensuite le produit avec précaution. L'anhydride passe dans le récipient, où il cristallise.



C'est un corps solide, cristallisé en prismes du troisième système, fusible à 50° et volatil à 47°.

L'anhydride azotique est un corps fort instable. En présence de l'eau, il y a double décomposition et l'anhydride se transforme en acide azotique :



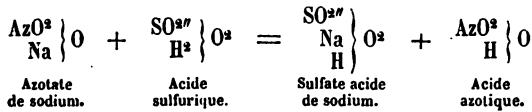
On l'analyse en réduisant un poids connu en vapeur et le faisant passer sur de la tournure de cuivre chauffée au rouge, qui retient l'oxygène. On recueille l'azote, que l'on dose par une mesure de volume.

**Acide azotique,**  $\left. \begin{array}{l} \text{AzO}^2 \\ \text{H} \end{array} \right\} \text{O}$ . Lorsqu'on soumet un mélange d'oxygène et d'azote à l'action d'une série considérable d'étincelles électriques en présence d'une solution d'hydrate de potassium, l'oxygène s'ozonise et réagit sur l'azote et la potasse, en donnant naissance à de l'azotate de potassium.

Ces azotates se forment encore toutes les fois que les matières organiques se décomposent à l'air, à la température de 20° ou 50°, en présence de l'eau et des carbonates alcalins. Enfin, au Pérou, il existe des gisements considérables d'azotate de sodium.

On obtient l'acide azotique en distillant ces sels avec une quan-

tité d'acide sulfurique suffisante pour transformer leur métal en sulfate acide :



Si l'on employait la moitié moins d'acide sulfurique, la réaction aurait encore lieu, mais il faudrait chauffer davantage, une partie de l'acide azotique se décomposerait et donnerait de l'hypoazotide qui, en se dissolvant dans l'acide azotique, lui communiquerait une couleur jaune rougeâtre (acide nitrique rouge fumant du commerce).

En dernier lieu, on purifie l'acide azotique en le distillant sur de l'azotate de plomb qui retient l'acide sulfurique entraîné dans la première opération, et en ne recueillant pas les premiers produits qui renferment de l'hypoazotide.

L'acide azotique normal ainsi obtenu est un liquide incolore, odorant, très-corrosif, qui colore la peau en jaune en la détruisant; sa densité est de 1,552 à 20°. Il bout à 86° et se congèle à — 49°.

A la lumière, cet acide se décompose en hypoazotide, qui le colore en jaune, oxygène et eau. Cette eau se combine à l'acide non décomposé et en augmente la stabilité.

Une décomposition semblable s'observe lorsqu'on distille l'acide azotique. Il commence à bouillir à 86°, mais à mesure qu'il bout, il se décompose en partie et l'eau formée se combine à la portion non décomposée, dont elle élève le point d'ébullition. La température monte ainsi graduellement jusqu'à 125°, où elle se fixe; le liquide qui passe alors répond à la formule  $(\text{AzHO}^{\text{a}})^{\text{a}} + 3\text{H}^{\text{a}}\text{O}$ . C'est un hydrate défini beaucoup plus stable que l'acide normal et qui constitue l'acide azotique ordinaire du commerce.

A l'exception de l'oxygène, du chlore, du brome et de l'azote, tous les métalloïdes décomposent l'acide azotique en s'emparant d'une partie de son oxygène. Il se forme alors soit un acide dérivé du métalloïde employé, soit, dans quelques cas rares, un oxyde basique qui produit un sel au contact de l'excès d'acide azotique, comme cela a lieu avec le bismuth et le zirconium.

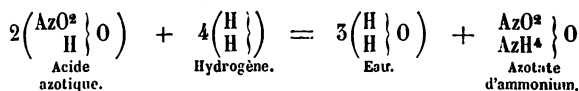
L'acide azotique attaque tous les métaux à l'exception de l'or, du platine, de l'iridium, du rhodium et du ruthénium. Les métaux s'emparent d'une partie de son oxygène et se transforment en

oxydes basiques, lesquels, en présence de l'acide non-décomposé, donnent des azotates métalliques.

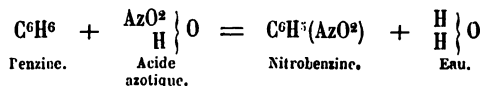
Dans toutes ces réactions, il se dégage de l'oxyde d'azotique, mais en réalité c'est de l'acide azoteux qui prend d'abord naissance et qui se décompose ultérieurement en acide azotique et oxyde azotique.

Un fait remarquable, c'est que l'acide normal agit moins facilement sur les métaux que l'hydrate  $(\text{AzHO}^3)^2 + 3\text{H}^2\text{O}$ . Cela paraît tenir à ce que l'acide azoteux qui se produit dans la réaction ne trouve pas assez d'eau pour se décomposer, lorsqu'on opère avec l'acide normal.

Dans toutes les réactions dont il vient d'être question, surtout si l'acide est très-étendu d'eau, il y a toujours décomposition d'une certaine quantité d'eau et production d'hydrogène. Ce dernier, à l'état naissant, transforme une portion de l'acide azotique en azotate d'ammonium.

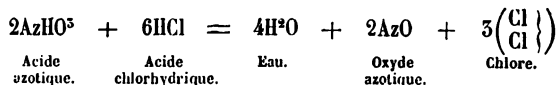


L'acide azotique normal réagit très-vivement sur certaines substances organiques : il se produit de l'eau et un composé qui représente, par sa composition, la substance primitive dans laquelle le radical monatomique  $\text{AzO}^2$  s'est substitué à une partie de l'hydrogène :



Ce phénomène a reçu le nom de substitution nitrée.

Lorsqu'on mêle de l'acide azotique avec de l'acide chlorhydrique et que l'on chauffe le mélange, une réaction s'établit, de l'eau prend naissance, en même temps que de l'oxyde azotique et du chlore deviennent libres :



Si alors la liqueur ne contient rien autre que le mélange précédent, l'oxyde azotique et le chlore se combinent, et l'on obtient

les composés découverts par Gay-Lussac et improprement connus sous les noms d'acide chloro-azoteux. . . .  $\text{AzOCl}$ .  
 et d'acide hypochloro-azotique. .  $\text{AzOCl}^2$ .

Si, au contraire, le mélange des deux acides renferme un autre corps, un métal ou un métalloïde ce corps s'empare du chlore naissant et se dissout à l'état de chlorure, ou bien s'oxyde aux dépens de l'eau dont l'hydrogène se combine au chlore. Des phénomènes analogues s'observent lorsqu'à l'acide chlorhydrique on substitue l'acide bromhydrique ou l'acide iodhydrique.

Le mélange d'acide chlorhydrique et d'acide azotique possédant la propriété de dissoudre l'or, a reçu par cette raison le nom d'eau régale.

La composition de l'acide azotique se déduit de celle de l'azotate de plomb. Si l'on calcine fortement un poids connu de ce sel, il reste de l'oxyde de plomb pur; on le pèse et de son poids on déduit celui du plomb que l'azotate renfermait. D'un autre côté, un autre poids connu d'azotate de plomb est décomposé par la chaleur dans un tube qui contient de la tournure de cuivre, l'azote devient libre et on le dose par une mesure de volume.

Si du poids de l'azotate de plomb on défalque celui de l'azote et celui du plomb, il reste celui de l'oxygène pour différence.

Enfin, on pèse une certaine quantité d'acide azotique et on le transforme intégralement en azotate de plomb en le chauffant avec de la litharge; du poids de l'azotate produit on déduit celui de l'azote et de l'oxygène que le sel renferme et que renfermait par conséquent l'acide azotique primitif; il suffit ensuite de retrancher leur poids de celui de cet acide pour connaître la proportion d'hydrogène par différence.



Poids atomique = 31.    Poids moléculaire = 124.

Le phosphore se retire de la cendre d'os, où il existe à l'état de phosphate neutre de calcium  $\left( \begin{array}{l} \text{PO}^{\prime\prime} \\ \text{Ca}^{\prime\prime\prime} \end{array} \right)^2 \text{O}^6$ . La cendre d'os renferme en outre du carbonate de calcium.

Pour extraire le phosphore, on fait digérer la cendre d'os avec



Enfin, un ouvrier aspire avec un tube le phosphore fondu sous l'eau, puis il ferme avec le doigt l'extrémité du tube, afin que la colonne liquide ne puisse tomber, et il porte le tube dans de l'eau froide où le phosphore se solidifie sous la forme d'un bâton. En dernier lieu, il fait sortir le bâton du tube de verre en le poussant avec une tige de fer.

Si l'on voulait avoir du phosphore entièrement pur, on devrait le distiller dans une atmosphère de gaz hydrogène.

On a proposé d'extraire le phosphore de la cendre d'os en chauffant un mélange de cette cendre et de charbon dans un courant de gaz acide chlorhydrique. Ce procédé, qui aurait l'avantage de donner la totalité du phosphore contenu dans les os n'a cependant reçu aucune application jusqu'à ce jour.

Le phosphore est solide à la température ordinaire, il fond à 44° et bout à 290°. Sa densité de vapeur est égale à 4,32; on en déduit pour le poids de sa molécule le nombre 124, ce qui indique que cette molécule renferme quatre atomes, le poids atomique du phosphore étant 31. La densité du phosphore solide est de 1,83.

Le phosphore est assez mou pour être rayé par l'ongle. L'eau ne le dissout pas, l'alcool et l'éther le dissolvent un peu et le sulfure de carbone le dissout fort bien, sa solution dans ce dernier dissolvant soumise à l'évaporation spontanée le dépose cristallisé en dodécédres rhomboïdaux.

Le phosphore est jaunâtre et transparent; abandonné sous l'eau, il se recouvre d'une couche blanche formée d'une multitude de cristaux microscopiques.

Le phosphore a une telle affinité pour l'oxygène, qu'il se combine à ce métalloïde à la température ordinaire. Si le phosphore est en grande masse, la chaleur dégagée peut suffire pour l'enflammer. Néanmoins, dans l'oxygène absolument sec, cette combinaison n'a pas lieu, à moins toutefois que ce gaz n'ait qu'une très-faible pression. A raison de sa facile combustibilité, le phosphore doit être conservé sous l'eau et manié avec de grandes précautions.

Le phosphore est lumineux à l'obscurité. Cette production de lumière est l'effet d'une combustion lente.

Le phosphore ne se combine directement ni à l'azote ni à l'hydrogène, il se combine, au contraire, avec une grande énergie au chlore, au brome, à l'iode et au soufre; sa combinaison avec le chlore et avec le brome constitue une véritable combustion; quant

à sa combinaison avec le soufre, lorsqu'on n'opère pas sous l'eau, elle peut donner lieu à de dangereuses explosions.

Le phosphore est un poison fort énergique : à faible dose il excite violemment les organes de la génération.

**Modification allotropique du phosphore.** Abandonné à la lumière solaire directe, ou mieux, chauffé pendant quelques heures dans un gaz inerte à une température de 235 à 250 degrés, le phosphore subit une importante modification.

Il devient rouge, opaque, insoluble dans le sulfure de carbone et tous les dissolvants en général, et sa densité devient égale à 2. On peut le conserver indéfiniment à l'air sans qu'il s'oxyde, il ne s'enflamme qu'à 250°. A 230° il se combine au soufre sans faire explosion, son affinité pour le chlore, le brome et l'iode est également moindre que lorsqu'il est à l'état ordinaire.

Lorsqu'on chauffe le phosphore rouge vers 280, il régénère partiellement du phosphore ordinaire, mais pour que cette transformation soit complète, il faut élever beaucoup plus la température. La proportion de phosphore ordinaire formée, atteint un maximum qu'on ne peut dépasser à cette température. Il s'établit donc ici, comme dans beaucoup d'autres réactions, un équilibre invariable tant que les conditions de l'expérience ne changent pas, entre le phosphore rouge et le phosphore ordinaire.

Pendant longtemps on avait considéré le phosphore rouge comme étant incristallisable, mais on a reconnu plus tard que lorsqu'on le chauffe dans un tube scellé à la lampe, on obtient un sublimé formé de cristaux grisâtres, isomorphes avec ceux de l'arsenic. Le phosphore rouge correspondrait donc à l'état normal de l'arsenic.

Cette sublimation apparente du phosphore amorphe qui en réalité n'est pas volatil, est produite par le phosphore ordinaire formé sous l'influence de la chaleur, qui a reconstitué lentement à un autre endroit du tube du phosphore amorphe.

Le phosphore amorphe n'est pas vénéneux. Cela résulte peut-être de ce qu'il ne s'oxyde pas. Le phosphore ordinaire paraît, en effet, n'être toxique que parce qu'il s'oxyde dans l'organisme.





L'hydrogène phosphoré gazeux est à peu près insoluble dans l'eau, mais il se dissout dans l'alcool et l'éther ; sa densité est de 1,185.

Il est extrêmement combustible et dépose en brûlant du phos-

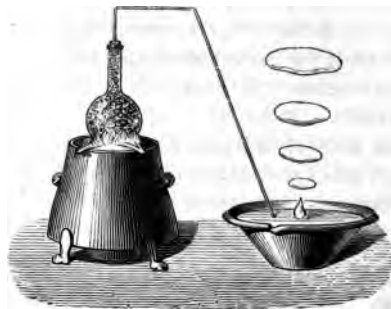


Fig. 28.

phore rouge, à moins qu'il ne soit mêlé à de l'oxygène, auquel cas il fait explosion par l'approche d'un corps enflammé et brûle sans résidu du phosphore.

Le chlore le décompose en acide chlorhydrique et chlorure de phosphore.

L'oxyde azotique lui communique la propriété de s'enflammer directement à l'air à cause de l'élévation de température qui a lieu lorsque le premier de ces gaz se combine à l'oxygène de l'air.

L'hydrogène phosphoré, préparé par le phosphure de calcium et l'eau, ou par une base, de l'eau et du phosphore jouit aussi de la propriété de s'enflammer spontanément, mais il la doit à une petite quantité de vapeur d'hydrogène phosphoré liquide qu'il renferme.

L'hydrogène phosphoré se combine directement aux acides bromhydrique et iodhydrique en formant les composés cristallisés  $\text{PH}\cdot\text{Br}$  et  $\text{PH}\cdot\text{I}$ , qui correspondent au bromure et à l'iodure d'ammonium. L'eau et les bases décomposent ces sels en régénérant l'hydrogène phosphoré.

Les chlorures d'étain, de titane, d'antimoine... forment avec l'hydrogène phosphoré des composés cristallisables que l'eau décompose.

Pour analyser ce gaz, on en fait passer un volume connu dans deux tubes chauffés au rouge et privés d'air, dont le premier contient de la tournure de cuivre et le second de l'oxyde du même métal, le phosphore se fixe sur le cuivre du premier tube dont l'aug-

mentation de poids indique le poids du métalloïde; quant à l'hydrogène, il se transforme en eau dans le second tube. On reçoit ce liquide dans un tube en U plein de pierre ponce imbibée d'acide sulfurique et préalablement pesé; l'excès de poids de ce tube fait connaître celui de l'eau, d'où l'on déduit celui de l'hydrogène.

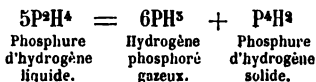
On trouve ainsi que l'hydrogène phosphoré contient en centièmes :

Phosphore. . . . .	91,18
Hydrogène. . . . .	8,82
	100,00

**Phosphure d'hydrogène liquide**  $P^2H^4$ . Lorsqu'on fait passer dans une ampoule fortement refroidie l'hydrogène phosphoré obtenu par l'action des bases et de l'eau sur le phosphore, ou par l'action de l'eau sur le phosphure de calcium, il se condense dans cette ampoule du phosphure d'hydrogène liquide.

Ce corps est spontanément inflammable, et il suffit même d'une trace de sa vapeur pour communiquer cette propriété aux gaz combustibles, comme l'hydrogène, l'oxyde de carbone, l'hydrogène phosphoré gazeux.

Les acides le décomposent par action de présence en phosphure d'hydrogène gazeux et phosphure d'hydrogène solide :



Nous avons doublé la formule ordinairement admise pour le phosphure d'hydrogène liquide, parce qu'avec l'ancienne formule il représenterait un radical d'atomicité impaire et qu'à deux exceptions près, les radicaux d'atomicité impaire ne peuvent pas exister sans se doubler; il pourrait du reste arriver que la vraie formule fût un multiple de  $P^2H^4$ . La détermination de la densité de vapeur du composé peut seule trancher cette question.

**Phosphure d'hydrogène solide**  $P^4H_2$ . On en obtient des quantités notables en recevant dans l'acide chlorhydrique l'hydrogène phosphoré gazeux qui renferme du phosphure liquide, recueillant sur un filtre la poudre qui se dépose et la desséchant à 100° après l'avoir bien lavée à l'eau.

Le phosphure d'hydrogène solide est jaune et insoluble dans l'eau; il n'est pas phosphorescent; à 160° il prend feu; chauffé à

l'abri de l'air, il se décompose à 180° en phosphore et hydrogène.

Nous avons doublé la formule de ce corps par une raison analogue à celle qui nous a décidé à doubler celle du phosphure liquide.

**Chlorures, bromures et iodures de phosphore.** Lorsqu'on fait passer du chlore sec sur un excès de phosphore placé dans une cornue tubulée et légèrement chauffée (*fig. 29*), le phos-

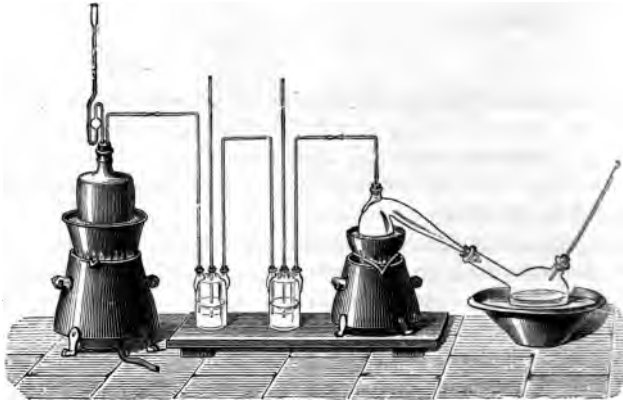
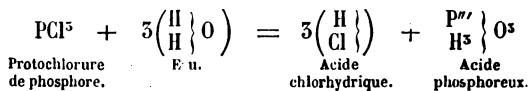


Fig. 29.

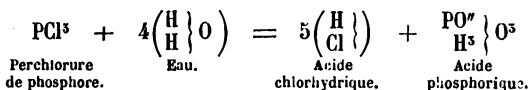
phore brûle dans le chlore et il distille un liquide mobile incolore, volatil à 78°, qui a pour formule  $\text{PCl}^3$ , c'est le protochlorure de phosphore.

Ce liquide, exposé à l'action d'un courant de chlore, se transforme en une masse solide qui répond à la formule  $\text{PCl}^5$  et qui distille, sans fondre avant, à 148°; c'est le perchlorure de phosphore. Ce corps se dissocie partiellement en trichlorure de phosphore et en chlore lorsqu'on le réduit en vapeur. (Voy. p. 27.) Le trichlorure et le chlore s'unissent de nouveau lorsque l'on condense la vapeur et régénèrent le perchlorure de phosphore.

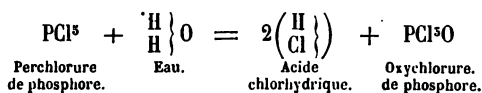
Au contact de l'eau le protochlorure de phosphore donne naissance à de l'acide chlorhydrique et à de l'acide phosphoreux :



Le perchlorure, lorsque l'eau est en excès, se transforme en acide phosphorique et acide chlorhydrique :

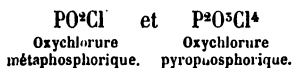


Mais si l'eau est en quantité insuffisante pour en opérer la décomposition complète, il échange seulement deux atomes de chlore contre un atome d'oxygène et donne l'oxychlorure de phosphore  $\text{POCl}_3$  :



Cet oxychlorure peut encore être obtenu par l'action directe de l'oxygène sur le perchlorure à une température élevée; il se dégage alors du chlore.

L'oxychlorure  $\text{POCl}_3$  correspond à l'acide phosphorique ordinaire; on a aussi préparé les oxychlorures correspondant aux acides méta- et pyrophosphorique, qui ont pour formules :



En faisant agir sur le perchlorure de phosphore, non plus l'eau, mais l'hydrogène sulfuré, on obtient un chlorosulfure de phosphore  $\text{PCl}_2\text{S}$ , qui n'est autre que l'oxychlorure  $\text{POCl}_3$  dont l'oxygène est remplacé par du soufre.

En dissolvant un atome de phosphore dans le sulfure de carbone, ajoutant à la solution 3 atomes de brome et évaporant le sulfure de carbone, il reste du protobromure de phosphore liquide répondant à la formule  $\text{PBr}_3$  et absolument analogue par ses propriétés au protochlorure.

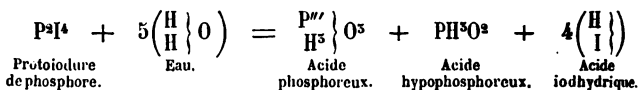
Si l'on ajoute du brome à ce produit, on obtient un perbromure solide  $\text{PBr}_5$ , qui peut donner naissance à des dérivés semblables à ceux que fournit le perchlorure.

L'iode forme aussi avec le phosphore deux combinaisons, mais différentes des précédentes; le protoiodure a pour formule  $\text{PI}_3$  ou mieux  $\text{P}^2\text{I}^4$ , et le periodure  $\text{PI}_5$ .

Le periodure, au contact de l'eau, se transforme en acide iodhy-

drique et acide phosphoreux, par une réaction semblable à celle dont il a été parlé à l'occasion du protochlorure.

Quant au protoiodure, comme au contact de l'eau il dégage de l'acide iodhydrique sans déposer de phosphore, il est probable qu'il se forme en même temps dans cette réaction un mélange d'acide phosphoreux et d'acide hypophosphoreux :



Les chlorures, bromures et iodures de phosphore sont d'un emploi fréquent en chimie organique. On s'en sert pour opérer le remplacement de l'oxygène par le chlore, le brome ou l'iode.

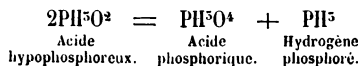
#### COMPOSÉS OXYGÉNÉS DU PHOSPHORE.

Il existe trois acides oxygénés du phosphore : l'acide hypophosphoreux  $\text{PH}^5\text{O}^3$ , l'acide phosphoreux  $\text{PH}^5\text{O}^5$  et l'acide phosphorique  $\text{PH}^5\text{O}^4$ . Les anhydrides phosphoreux et phosphorique sont connus.

**Acide hypophosphoreux**  $\text{PO}''' \left\{ \begin{array}{c} \text{H}^2 \\ \text{OH} \end{array} \right\} = \text{PH}^5\text{O}^3$ . Nous avons vu que lorsqu'on chauffe du phosphore avec de la potasse, de la chaux ou de la baryte en présence de l'eau, il se dégage de l'hydrogène phosphoré, tandis qu'un hypophosphite de la base employée reste en solution.

En décomposant l'hypophosphite de baryum par l'acide sulfurique étendu, filtrant pour séparer le sulfate de baryum et évaporant jusqu'à consistance sirupeuse le liquide filtré, on obtient l'acide hypophosphoreux. Cet acide répond à la formule  $\text{PH}^5\text{O}^3$ , mais des trois atomes d'hydrogène qu'il contient un seul est remplaçable par les métaux. M. Lieben, pour exprimer ce fait, a proposé de donner à l'acide hypophosphoreux la formule rationnelle  $\text{POH}^{2'} \left\{ \begin{array}{c} \text{O} \\ \text{H} \end{array} \right\}$  ou  $\text{PO}''' \left\{ \begin{array}{c} \text{H}^2 \\ \text{OH} \end{array} \right\}$ .

L'acide hypophosphoreux est un corps très-avide d'oxygène ; il réduit l'acide sulfurique et beaucoup d'oxydes métalliques ; chauffé à l'abri de l'air, il laisse un résidu d'acide phosphorique et dégage de l'hydrogène phosphoré gazeux, mêlé d'un peu de phosphure liquide :



Le phosphure liquide doit provenir d'une réaction secondaire.

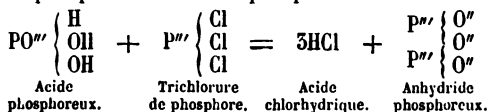
**Acide phosphoreux.** L'acide phosphoreux s'obtient en mettant le protochlorure de phosphore en contact avec l'eau, et évaporant pour chasser l'acide chlorhydrique et l'excès d'eau. Dans cette évaporation il ne faudrait pas trop élever la température, parce que l'acide phosphoreux se décomposerait en hydrogène phosphoré et acide phosphorique (voir hydrogène phosphoré).

L'acide phosphoreux a un pouvoir réducteur tel qu'il décompose l'anhydride sulfureux en s'emparant de l'oxygène et mettant du soufre en liberté.

En présence des bases, l'acide phosphoreux échange deux atomes d'hydrogène seulement contre des métaux. M. Lieben a proposé à cause de ce fait de donner à l'acide phosphoreux la formule

$\text{POH}'' \left. \begin{matrix} \text{H} \\ \text{H}^2 \end{matrix} \right\} \text{O}^2$ , ou, ce qui revient au même,  $\text{PO}'' \left. \begin{matrix} \text{H} \\ \text{OH} \end{matrix} \right\} \text{OH}$ . Mais le troisième atome d'hydrogène peut être remplacé par des radicaux alcooliques (éthyle, méthyle, etc.)

On connaît l'anhydride phosphoreux. Ce corps prend naissance lorsqu'on oxyde le phosphore à une basse température dans un volume d'oxygène insuffisant pour transformer ce métalloïde en anhydride phosphorique. Il se produit encore lorsqu'on fait agir le trichlorure de phosphore sur l'acide phosphoreux :

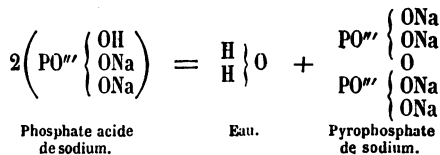


**Anhydride phosphorique**  $\text{P}^2\text{O}^5 = \text{PO}'' \left. \begin{matrix} \text{O}'' \\ \text{O}'' \end{matrix} \right\} \text{O}^5$ . Quand on fait brûler du phosphore dans un courant d'air sec, il se produit une poudre blanche extrêmement avide d'eau, dont la formule est  $\text{P}^2\text{O}^5$ . C'est l'anhydride phosphorique.

**Acide phosphorique**  $\text{PO}'' \left\{ \begin{matrix} \text{OH} \\ \text{OH} \\ \text{OH} \end{matrix} \right.$ . Lorsqu'on dissout l'anhydride phosphorique dans l'eau et qu'on fait bouillir la solution, une double décomposition s'opère, et si l'on chasse l'excès d'eau par évaporation, il reste un liquide sirupeux qui répond à la formule  $\text{PO}'' \left\{ \begin{matrix} \text{OH} \\ \text{OH} \\ \text{OH} \end{matrix} \right.$ , et qui n'est autre que l'acide phosphorique.

Cet acide est triatomique et tribasique ; il peut donner naissance, en réagissant sur les bases, à deux séries de sels acides et à une série de sels neutres.

Lorsqu'on calcine vivement les phosphates acides de la forme  $\text{PO}'' \begin{cases} \text{OH} \\ \text{OR} \\ \text{OR} \end{cases}$ , par exemple le phosphate sodique du commerce, une molécule d'eau s'élimine, et il se produit un sel d'un acide condensé, l'acide diphosphorique ou pyrophosphorique :



de ce sel on peut retirer l'acide pyrophosphorique  $\begin{matrix} \text{PO}'' \\ \text{PO}'' \end{matrix} \begin{cases} \text{OH} \\ \text{OH} \\ \text{O} \\ \text{OH} \\ \text{OH} \end{cases}$ . Il suffit

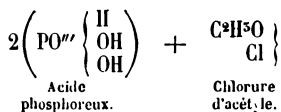
pour cela de le précipiter par l'acétate de plomb, et de décomposer ensuite, par l'hydrogène sulfuré, le précipité de pyrophosphate de plomb, après l'avoir préalablement bien lavé.

Plusieurs chimistes opposés à la théorie atomique se refusent encore à écrire l'acide pyrophosphorique  $\text{P}^2\text{H}^4\text{O}^7$ . Ils le formulent  $\text{P}^2\text{H}^3\text{O}^7$  en faisant  $\text{O} = 8$ , quoique M. Mentschukine ait démontré que la formule  $\text{P}^2\text{H}^4\text{O}^7$  est seule vraie. Ce chimiste, en faisant agir le chlorure d'acétyle sur l'acide phosphoreux, a obtenu

le dérivé monoacétique  $\begin{matrix} \text{PO}'' \\ \text{PO}'' \end{matrix} \begin{cases} \text{H} \\ \text{OH} \\ \text{O} \\ \text{OC}^2\text{H}^5\text{O} \\ \text{H} \end{cases}$  de l'acide pyrophosphoreux

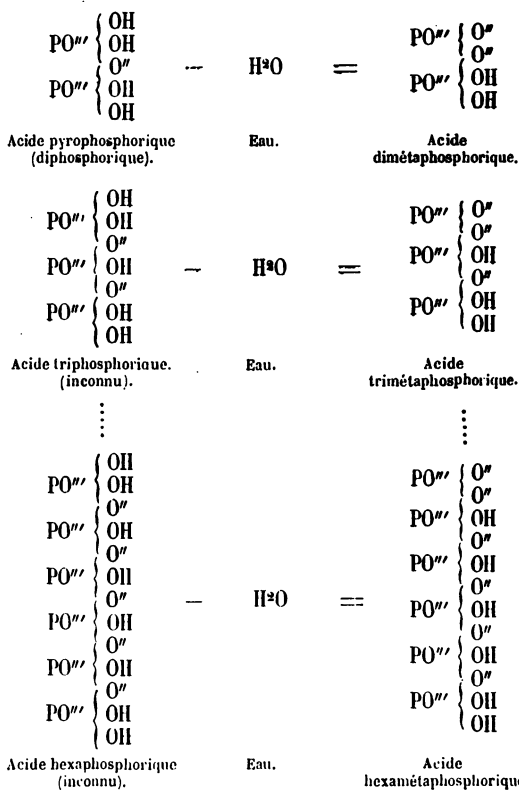
inconnu dont la formule serait  $\begin{matrix} \text{PO}'' \\ \text{PO}'' \end{matrix} \begin{cases} \text{H} \\ \text{OH} \\ \text{O} \\ \text{OH} \\ \text{H} \end{cases}$  ; il se forme conformi-

ment à l'équation suivante :









Les acides phosphorique, pyrophosphorique et métaphosphorique peuvent être aisément distingués à l'aide de l'albumine et de l'azotate d'argent. L'albumine, en effet, n'est coagulée ni par l'acide phosphorique, ni par l'acide pyrophosphorique, tandis que l'acide métaphosphorique la coagule ; et le nitrate d'argent qui précipite en jaune l'acide phosphorique, précipite en blanc les acides métaphosphorique et pyrophosphorique.

Ces caractères sont réunis dans le tableau suivant :

L'albumine	}	L'azotate d'argent donne	
est coagulée	}	un précipité blanc.	. . Acide métaphosphorique

{ L'azotate d'argent précipité en blanc. . . . Acide pyrophosphorique.  
 { L'azotate d'argent précipité en jaune. . . . Acide phosphorique.

des sels de l'acide sulfophosphorique  $PS''$   $\left\{ \begin{array}{l} OH \\ OH, \text{qu'on} \\ OH \end{array} \right.$

raitant le sulfochlorure  $POCl^3$  par les alcalis. L'acide ne serait autre chose que de l'acide phosphorique l'oxygène du radical est remplacé par du soufre, n'est

**des acides du phosphore.** Les trois acides simple renferment, tous, trois atomes d'hydrogène. e ces trois atomes d'hydrogène, un seul est remplacé par des métaux dans l'acide hypophosphoreux, deux le sont phosphoreux, ils le sont tous trois dans l'acide phos-

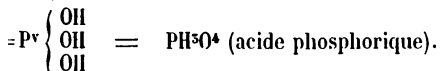
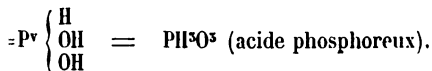
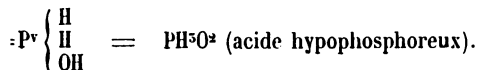
quer ce fait, il suffit d'admettre que dans tous les acides cinq unités d'affinités du phosphore sont saturées gène et que les trois autres le sont :

acide hypophosphoreux, deux par l'hydrogène et un par le

acide phosphoreux, deux par l'oxyhydre et une seule gène ;

l'acide phosphorique, toutes les trois par l'oxyhydre.

uni au phosphore par l'intermédiaire de l'oxygène remplaçable par les métaux. Les formules développées ontrent cette constitution des acides du phosphore :



orie des acides du phosphore a été exposée pour la première fois par M. Lieben.

## COMBINAISONS DU PHOSPHORE AVEC LE SOUFRE.

On connaît les composés  $P^4S$ ,  $P^2S$ ,  $P^2S^3$ ,  $P^2S^5$  et  $PS^6$ ; les quatre premiers correspondent par leur composition à l'oxyde de phosphore et aux anhydrides, hypophosphoreux, phosphoreux et phosphorique. Le cinquième ne correspond à aucune combinaison oxygénée.

Ces divers composés, fort difficiles à préparer avec le phosphore ordinaire, s'obtiennent aisément avec le phosphore amorphe.

Les deux premiers de ces corps affectent deux états allotropiques particuliers; ils peuvent se présenter soit sous la forme de liquides volatils sans décomposition, solidifiables à une basse température, spontanément inflammables et décomposables par l'eau; soit sous la forme de corps solides, rouges, inattaquables par l'eau et incapables de s'enflammer spontanément.

Probablement la modification liquide de ces corps contient le phosphore à l'état cristallisable, tandis que la modification solide contient le phosphore à l'état amorphe.



Poids atomique = 75      Poids moléculaire = 300

On prépare généralement l'arsenic en chauffant un arsénio-sulfure de fer (le mispickel) avec des débris de fonte ou de tôle; l'arsenic se volatilise et le soufre reste à l'état de sulfure de fer.

On peut encore obtenir l'arsenic très-pur en faisant passer des vapeurs d'anhydride arsénieux sur du charbon chauffé au rouge, ou en chauffant un mélange de chaux et de sulfure d'arsenic.

L'arsenic est solide à la température ordinaire. Sous l'influence de la chaleur il se volatilise sans fondre, à moins qu'on n'opère sous pression. L'arsenic peut exister sous plusieurs états :

1° L'arsenic cristallisé en rhomboédres très-brillants d'une densité de 5.727, qu'on obtient par sublimation ;

2° L'arsenic pulvérulent noir, d'une densité de 4,710, qu'on obtient par sublimation dans un courant d'hydrogène; chauffé vers 360°, il dégage de la chaleur et se convertit en arsenic cristallisé.

3° L'arsenic vitreux noir, d'une densité de 4,713, qu'on obtient

en condensant à 220° la vapeur d'arsenic ; à 360° il se transforme en arsenic cristallisé, en dégageant de la chaleur.

La densité de vapeur de l'arsenic est de 10,59.

L'arsenic est insoluble dans l'eau, à l'air il s'oxyde superficiellement et devient vite terne, mais il suffit de le tremper dans la solution d'un hypochlorite alcalin (eau de Javelle) pour lui rendre tout son éclat en dissolvant la mince couche d'oxyde qui en recouvrait la surface.

L'arsenic peut être pulvérisé avec la plus grande facilité. Il est inodore et insipide. Lorsqu'on le projette sur des charbons ardents il répand une odeur alliécée qui n'appartient ni aux vapeurs d'arsenic, ni aux vapeurs d'anhydride arsénieux, et qui paraît se manifester au moment même où l'oxydation a lieu.

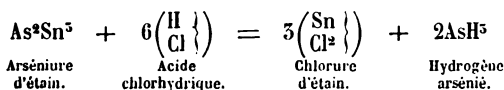
L'arsenic se combine avec l'oxygène à une température peu élevée. Il brûle alors avec une flamme bleu pâle, en produisant de l'anhydride arsénieux (arsenic blanc du commerce). Il s'enflamme spontanément dans une atmosphère de chlore, et du chlorure d'arsenic prend naissance.

L'arsenic n'est pas vénéneux par lui-même, mais il le devient sous toutes les influences qui peuvent déterminer son oxydation. Ses oxydes sont, en effet, fortement toxiques.

#### COMBINAISONS DE L'ARSENIC AVEC LES MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES.

On connaît deux arséniures d'hydrogène : l'hydrogène arsénié gazeux  $AsH^3$  et l'arséniure solide  $As^3H^2$ , analogue au phosphure d'hydrogène solide.

**Hydrogène arsénié**  $AsH^3$ . Ce corps se produit mêlé d'hydrogène lorsqu'on fait agir l'hydrogène naissant sur les acides oxygénés de l'arsenic. On le prépare à l'état de pureté en traitant l'arséniure d'étain par l'acide chlorhydrique :



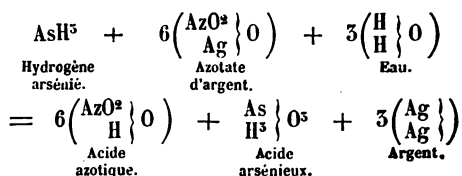
C'est un gaz incolore d'une odeur nauséabonde et d'une densité de 2,695 ; il se liquéfie à — 50° environ sous la pression ordinaire de l'atmosphère.

*La chaleur décompose l'hydrogène arsénié en arsenic et hydro-*

gène. L'électricité lui fait éprouver une décomposition semblable.

L'hydrogène arsénié brûle à l'air en donnant naissance à de l'eau et à des fumées blanches d'anhydride arsénieux ; mais si l'oxygène est insuffisant, comme cela a toujours lieu au milieu de la flamme, il se produit de l'eau et de l'arsenic ; il en résulte que, lorsqu'on coupe la flamme de ce gaz avec un corps froid, on obtient une tache miroitante d'arsenic.

L'hydrogène arsénié, au contact d'une solution de nitrate d'argent, donne de l'argent métallique, de l'acide arsénieux et de l'acide azotique :



On fait l'analyse de l'hydrogène arsénié de la même manière que celle de l'hydrogène phosphoré.

**Arséniure d'hydrogène solide**  $\text{As}^4\text{H}^3$  (SYNONYMIE : *hydrure d'arsenic*). Ce composé prend naissance dans diverses circonstances. M. Blondlot a récemment découvert qu'il se forme toutes les fois qu'on fait agir l'hydrogène naissant sur les acides de l'arsenic en présence de l'acide azotique ; les quantités les plus faibles de cet acide suffisent pour empêcher la production de l'hydrogène arsénié gazeux et pour déterminer celle de l'arséniure solide ; toutefois, si l'on ajoute des substances organiques au mélange, la production d'hydrogène arsénié gazeux a seule lieu comme en l'absence de l'acide azotique.

#### COMBINAISONS DE L'ARSENIC AVEC LE CHLORE, LE BROME ET L'IODE.

Le chlore, le brome et l'iode se combinent directement à l'arsenic, les deux premiers avec production de lumière. Il se forme dans ce cas du chlorure, du bromure ou de l'iodure d'arsenic.

Le chlorure d'arsenic est liquide, il bout à  $134^\circ$  et se congèle à  $-29^\circ$  ; sa formule est  $\text{AsCl}^3$ .

Le bromure est solide à la température ordinaire, il fond à  $20^\circ$  et distille à  $220^\circ$  ; sa formule est  $\text{AsBr}^3$ .

## COMBINAISONS DE L'ARSENIC AVEC LE SOUFRE.

On connaît cinq sulfures d'arsenic qui sont représentés par les formules :



Le sulfure  $\text{As}^2\text{S}^2$  se rencontre dans la nature et porte le nom de réalgar ; il cristallise en prismes d'un beau rouge et est utilisé dans la peinture à l'huile.

Le trisulfure  $\text{As}^3\text{S}^3$  se trouve également dans la nature et est connu sous le nom d'orpiment ; il sert comme couleur jaune.

Les autres sulfures n'ont pas d'importance ; on les obtient en chauffant directement en proportions convenables de l'arsenic avec du soufre.

## APPAREIL DE MARSH.

La transformation facile des acides de l'arsenic en hydrogène arsénié sous l'influence de l'hydrogène naissant, est mise à profit pour la recherche de l'arsenic à l'aide de l'appareil de Marsh.

L'appareil se compose d'un flacon A (fig. 30), dans lequel on dé-

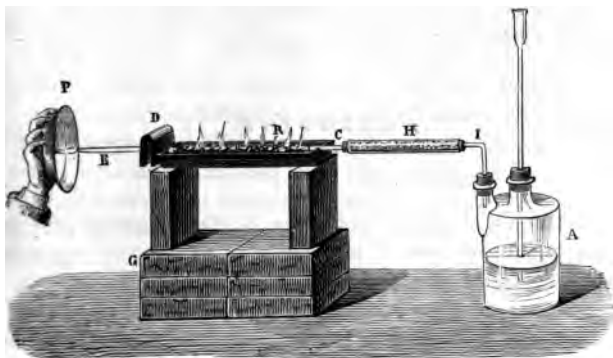


Fig. 30.

gage de l'hydrogène au moyen du zinc pur et de l'acide sulfurique dilué ; l'hydrogène traverse d'abord un petit tube R rempli de coton, destiné à retenir les gouttelettes de liquide entraînées par le gaz, et se rend ensuite dans un tube en verre peu fusible R, d'un diamètre

intérieur de 4 à 5 millimètres. Lorsqu'on allume l'hydrogène effilé de ce tube et qu'on introduit une petite quantité de solution d'acide arsénieux par le tube à entonnoir, il se dégase l'hydrogène arsénié, qui change considérablement l'aspect de la flamme : celle-ci s'allonge et prend une teinte bleuâtre et elle répand des fumées blanches. Si l'on écrase cette flamme sur une soucoupe de porcelaine froide P, on voit celle-ci se recouvrir de taches d'arsenic d'un brun noirâtre.

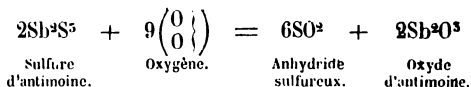
Si, maintenant, on chauffe une partie du tube à dégager l'hydrogène arsénié se décompose et l'arsenic libre se dépose sous la forme d'un anneau noir, miroitant dans la partie froide du tube. Cet appareil permet de déceler les plus petites traces d'arsenic et est précieux pour la recherche de cet élément dans les cas de poisoning.

Les composés de l'antimoine, placés dans l'appareil de Marsh, subissent les mêmes phénomènes analogues, mais au moyen de quelques réactions simples, il est très-facile de distinguer les taches d'antimoine de celles de l'arsenic. L'anneau produit par l'arsenic se volatilise dans le tube lorsqu'on le chauffe, à cause de la volatilité de l'arsenic; l'anneau d'antimoine au contraire est fixe. Le chlorure de chaux fait disparaître facilement les taches d'arsenic, mais il laisse intactes les taches d'antimoine.

### ANTIMOINE $\left. \begin{array}{l} \text{Sb}^3 \\ \text{Sb}^2 \end{array} \right\}$

Poids atomique = 122    Poids moléculaire probable 188

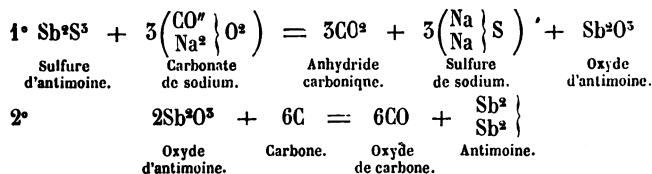
L'antimoine existe dans la nature à l'état de sulfure. On débarrasse d'abord le minerai pour le débarrasser de ses gangues; après avoir subi cette fusion, ce dernier prend le nom d'antimoine en grille ensuite ce corps (c'est-à-dire qu'on le calcine au contact de l'air), afin de le transformer partiellement en oxyde, conformément à l'équation :



Le minerai grillé est entoué chauffé avec du charbon arrosé d'une solution très-concentrée de carbonate de sodium. Ce sel trans-



le sulfure d'antimoine restant en oxyde, et le charbon réduit l'oxyde à l'état d'antimoine libre :



L'antimoine ainsi obtenu n'est pas pur ; le plus sûr moyen de le purifier consiste à le chauffer avec un excès d'acide azotique. Cet acide transforme l'antimoine en un oxyde insoluble,  $\text{Sb}^{\circ}\text{O}^{\circ}$ , tandis que les corps qui étaient mêlés à ce métalloïde passent à l'état de composés solubles. On lave bien cet oxyde, on le dessèche, et finalement on le réduit par le charbon.

L'antimoine est d'un blanc d'argent ; il possède l'éclat métallique et est assez cassant pour qu'on puisse le pulvériser avec une grande facilité.

La densité de l'antimoine est de 6,702, il cristallise sous une forme qui se rapproche beaucoup du rhomboèdre.

L'antimoine fond à 450° et se volatilise sensiblement au rouge. Il ne s'altère pas à l'air, à la température ordinaire, mais, au rouge, il brûle en se transformant en oxyde ; pulvérisé, il s'enflamme spontanément dans une atmosphère de chlore.

L'antimoine ne se dissout que très-difficilement dans l'acide chlorhydrique, propriété qui permet de le séparer de l'étain. L'acide sulfurique concentré et bouillant l'attaque en dégageant de l'anhydride sulfureux et donnant naissance à du sulfate d'antimoine. L'acide azotique le transforme en oxyde intermédiaire. L'eau régale le dissout en le faisant passer soit à l'état de protochlorure, soit à l'état de perchlorure, selon que c'est l'antimoine ou l'eau régale qui domine

Comme l'étain et le zirconium, l'antimoine forme un oxyde qui joue le rôle d'anhydride basique et réagit sur les acides en formant des sels.

#### COMBINAISON DE L'ANTIMOINE AVEC L'HYDROGÈNE.

L'hydrogène antimoniqué n'a jamais été obtenu à l'état de pureté ; il se produit toutes les fois qu'on fait agir l'hydrogène naissant sur

un composé antimonie soluble. Il est décomposé par la chaleur en antimoine et hydrogène ; en un mot, ses propriétés le rapprochent de l'hydrogène arsénié. Si l'on considère, d'autre part, les nombreuses analogies que présentent l'arsenic et l'antimoine dans la plupart de leurs composés, on ne doutera pas que l'hydrogène antimonie ne doive être représenté par la formule  $SbH^3$ .

#### COMBINAISONS DE L'ANTIMOINE AVEC LE CHLORE, LE BROMÉ ET L'IODE.

En faisant agir du chlore sec sur de l'antimoine en grand excès placé dans une cornue de verre légèrement chauffée, on obtient un trichlorure de consistance butyreuse  $SbCl^3$ . Ce chlorure est décomposé par l'eau avec formation d'acide chlorhydrique et d'un oxychlorure insoluble  $SbOCl$  connu sous le nom de poudre d'Algaroth. Soumis à des lavages longtemps continués, ce dernier corps se transforme en un hydrate  $SbO.OH$  que la chaleur convertit en oxyde  $Sb^2O^3$ , avec élimination d'eau. Le trichlorure d'antimoine est un caustique que l'on utilise en médecine sous le nom de beurre d'antimoine (\*).

En présence d'un excès de chlore, l'antimoine donne naissance à un perchlorure  $SbCl^5$ , que l'eau décompose en acide chlorhydrique et acide antimonique  $SbH^3O^4$ , et qui donne un chlorosulfure  $SbCl^3S$  sous l'influence de l'hydrogène sulfuré.

Le brome et l'iode se combinent également à l'antimoine : on n'a étudié que celles de ces combinaisons qui correspondent au protochlorure.

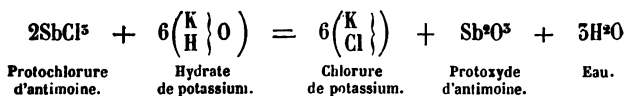
#### COMBINAISONS DE L'ANTIMOINE AVEC L'OXYGÈNE.

On connaît trois composés oxygénés d'antimoine ; ce sont : le protoxyde ou tritoxyle  $Sb^2O^3$ , l'oxyde intermédiaire  $Sb^2O^4$  et l'anhydride antimonique  $Sb^2O^5$ , auquel correspondent les acides antimonique et méta-antimonique.

**Protoxyde d'antimoine**  $Sb^2O^3$ . On prépare ce corps soit en oxydant l'antimoine à l'air, soit en précipitant le protochlorure de ce métalloïde par une base, lavant et desséchant le précipité :

(\*) Le trichlorure étant le premier chlorure d'antimoine, prend aussi le nom de protochlorure.

### ANHYDRIDE ANTIMONIQUE.



Avant d'avoir subi la dessiccation, le précipité a pour formule  $\text{SbHO}^s$ . L'oxyde précipité se dissout dans les bases alcalines, à moins toutefois que la précipitation n'ait été faite au moyen de l'ammoniaque. L'oxyde préparé par oxydation directe peut cristalliser en prismes ou en octaèdres réguliers ; il est donc dimorphe comme l'anhydride arsénieux, auquel il correspond par sa composition :

Le protoxyde d'antimoine est un anhydride basique. Il se dissout dans les acides en donnant naissance à des sels dans lesquels l'hydrogène des acides est remplacé par le groupe antimonyle  $\text{SbO}$ , fonctionnant soit comme monovalent, soit comme trivalent. Les sels d'antimoine sont généralement décomposés par l'eau, avec formation d'un sous-sel qui se précipite et d'un sel fortement acide qui reste dissous. L'acide sulfhydrique fait naître dans leurs solutions un précipité rouge, soluble dans le sulfhydrate d'ammoniaque et dans l'acide chlorhydrique bouillant.

Une lame d'étain ou de zinc y produit un dépôt d'antimoine libre, très-difficilement attaquant par l'acide chlorhydrique bouillant.

Un fait remarquable est qu'on ne connaît aucun sel oxygéné d'antimoine répondant à la formule  $\left. \begin{array}{c} \text{Sb}'' \\ \text{R}^s \end{array} \right\} \text{O}^s$ ; tous dérivent de l'hydrate  $\left. \begin{array}{c} \text{SbO} \\ \text{H} \end{array} \right\} \text{O}$  par la substitution d'un radical acide à l'hydrogène qu'il contient, ou sont des sels acides qui renferment également le résidu monovalent  $\text{SbO}$  de cet hydrate.

**Anhydride antimonique**  $\left. \begin{array}{c} \text{SbO}'' \\ \text{SbO}'' \end{array} \right\} \text{O}^s$ . On obtient ce corps en dissolvant l'antimoine dans l'eau régale, évaporant à siccité et calcinant le résidu à la température du rouge sombre.

Quand on attaque l'antimoine par l'acide azotique renfermant un peu d'acide chlorhydrique, et qu'on ne calcine pas la poudre blanche insoluble qui se produit, celle-ci a pour formule  $\text{SbO}'' \left\{ \begin{array}{c} \text{O} \\ \text{OH} \end{array} \right.$ . C'est un acide analogue à l'acide métaphosphorique et qui représente le premier anhydride d'un acide inconnu dont la formule serait  $\text{SbO}'' \left\{ \begin{array}{c} \text{OH} \\ \text{OH} \\ \text{OH} \end{array} \right.$

L'acide  $\text{SbO}'' \left\{ \begin{array}{l} \text{O}'' \\ \text{OH} \end{array} \right.$  se nomme acide antimonique. En présence des bases, il échange H contre un métal et donne naissance à des sels qui ont pour formule générale  $\text{SbO}'' \left\{ \begin{array}{l} \text{O}'' \\ \text{OM}' \end{array} \right.$ .

En décomposant le perchlorure d'antimoine par l'eau, on obtient un autre acide qui est analogue à l'acide pyrophosphorique; c'est

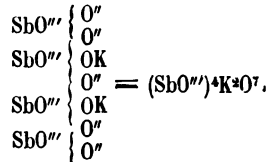
l'acide méta-antimonique de M. Frémy; sa formule est  $\text{SbO}'' \left\{ \begin{array}{l} \text{OH} \\ \text{OH} \\ \text{O}'' \\ \text{OH} \\ \text{OH} \end{array} \right.$

il peut échanger 4 atomes d'hydrogène contre 4 atomes de métal; mais, au contact de l'eau, ses sels neutres se décomposent toujours

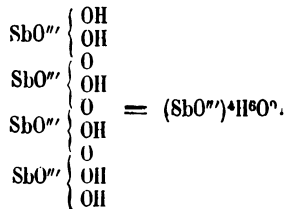
en base libre et sel acide, répondant à la formule  $\text{SbO}'' \left\{ \begin{array}{l} \text{OM}' \\ \text{OH} \\ \text{O}'' \\ \text{OH} \\ \text{OM}' \end{array} \right.$

Le sel de potassium, qui correspond à cette formule, jouit de la propriété de précipiter les sels de sodium à l'état de biméta-antimoniate insoluble.

Lorsqu'on traite l'antimoine par l'azotate de potassium à une haute température, il se produit de l'antimoniate de potassium  $\text{SbO}'' \left\{ \begin{array}{l} \text{O}'' \\ \text{OK} \end{array} \right.$  qui se dissout à la longue dans l'eau bouillante, et il reste une poudre insoluble dont la formule est



Ce sel paraît correspondre à un acide  $(\text{SbO}'' )_4 \text{H}_2 \text{O}^7$ , qui serait deuxième anhydride d'un acide inconnu



On voit que les plus grandes analogies relient les acides antimoni-ques aux acides phosphoriques.

**Oxyde d'antimoine intermédiaire**  $Sb^2O^4$ . On obtient ce corps sous la forme d'une poudre blanche insoluble, en grillant le sulfure d'antimoine jusqu'à ce qu'il cesse d'absorber l'oxygène ou en attaquant l'antimoine par l'acide azotique. Ce composé peut être considéré comme de l'antimoniate d'antimonyle  $SbO'' \left\{ \begin{array}{l} O'' \\ O (SbO)' \end{array} \right.$

COMBINAISONS DE L'ANTIMOINE AVEC LE SOUFRE.

On connaît deux sulfures d'antimoine, le trisulfure  $Sb^3S^5$  et le pentasulfure  $Sb^5S^5$ . On les obtient en faisant passer un courant d'hydrogène sulfuré dans la solution des chlorures correspondants.  $SbCl^3$  et  $SbCl^5$ .

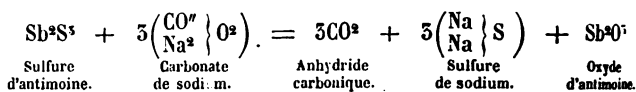
Le trisulfure s'obtient aussi en chauffant les proportions voulues d'antimoine et de soufre. Il se rencontre dans la nature à l'état cristallisé et porte le nom minéralogique de stibine. L'hydrogène le réduit sous l'influence de la chaleur avec formation d'acide sulfhydrique et mise en liberté d'antimoine.

Le pentasulfure abandonne du soufre au sulfure de carbone et pourrait bien, par conséquent, n'être qu'un simple mélange. Aux deux sulfures d'antimoine correspondent de véritables sulfosels. Aussi ces sulfures se dissolvent-ils dans la solution des sulfures alcalins et peuvent-ils être envisagés comme des anhydrosulfides acides.

Il existe un composé de sulfure et de protoxyde d'antimoine qui a une certaine importance parce qu'il est fort employé en médecine, comme expectorant et sudorifique ou comme sédatif dans les phlegmasies parenchymateuses. C'est le kermès.

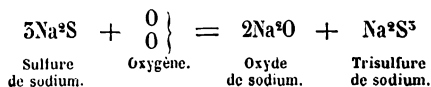
Pour préparer le kermès, on fait réagir le carbonate de sodium sur le sulfure d'antimoine, soit en chauffant au rouge un mélange de ces corps (voie sèche), soit en faisant bouillir le sulfure d'antimoine avec une solution de carbonate de sodium (voie humide). Même lorsqu'on opère par voie sèche, on reprend ensuite par l'eau bouillante, ce qui fait que les deux procédés se réduisent théoriquement à un seul. Lorsque l'ébullition a suffisamment duré, on filtre à chaud. La liqueur filtrée laisse déposer le kermès en se refroidissant.

La théorie de cette opération est la suivante : par la réaction d'une partie du carbonate de sodium sur une partie du sulfure d'antimoine, de l'oxyde d'antimoine et du sulfure de sodium prennent naissance :



L'oxyde d'antimoine reste dissous à la faveur du carbonate de sodium non décomposé, et le sulfure d'antimoine inaltéré entre en solution à la faveur du sulfure de sodium. Mais comme oxyde et sulfure d'antimoine se dissolvent plus à chaud qu'à froid dans leurs dissolvants respectifs, l'un et l'autre se déposent par le refroidissement de la liqueur et constituent le kermès.

La liqueur refroidie contient encore de l'oxyde et du sulfure d'antimoine dissous. Si on la traite par l'acide chlorhydrique, celui-ci décompose le carbonate de sodium et le sulfure de sodium, et il se dépose une nouvelle quantité d'oxyde et de sulfure d'antimoine. Seulement l'oxyde réagit sur l'acide sulfhydrique provenant de la décomposition du sulfure de sodium et se transforme intégralement en sulfure, si bien qu'en dernière analyse, on n'obtient dans cette seconde opération que du sulfure d'antimoine hydraté. Ce sulfure contient même un peu de persulfure; celui-ci provient de la mise en liberté d'une petite quantité de soufre par l'acide chlorhydrique aux dépens des polysulfures sodiques engendrés par l'action de l'air sur le monosulfure de sodium :



Ce mélange de trisulfure et de pentasulfure d'antimoine hydraté est usité sous le nom de soufre doré d'antimoine.

En grillant le sulfure d'antimoine naturel on obtient des oxysulfures connus sous le nom de verre d'antimoine, foie d'antimoine, crocus metallorum, etc.



Poids atomique = 210    Poids moléculaire probable = 840

Le bismuth existe à l'état natif; son extraction consiste en une simple fusion destinée à le débarrasser de ses gangues. Pour le purifier entièrement, on le dissout dans l'acide azotique et l'on ajoute une grande quantité d'eau à la solution : le bismuth se précipite à l'état de sous-azotate, tandis que tous les métaux avec lesquels il était combiné restent en solution. On lave le précipité, on le dessèche et on le calcine dans un creuset avec du charbon. Après refroidissement, on trouve au fond du creuset un culot de bismuth très-pur.

Le bismuth a une couleur blanche qui tire un peu sur le rose. Il est dur et cassant au point de pouvoir être facilement pulvérisé. Il fond à 267° et peut cristalliser par voie de fusion sous forme de trémies pyramidales formées par des cristaux cubiques superposés. Ces cristaux, ordinairement recouverts d'une couche d'oxyde fort mince, présentent le phénomène des anneaux colorés. A une température très-élevée, le bismuth se volatilise. Sa densité est de 9,9.

Le bismuth ne s'oxyde pas à l'air sec; si l'air est humide, il se ternit un peu; sous l'influence simultanée de l'air et de la chaleur, il s'oxyde rapidement.

Le chlore peut se combiner rapidement au bismuth. L'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique étendus n'agissent pas sur ce corps; l'acide sulfurique concentré le dissout à chaud en dégageant de l'anhydride sulfureux.

L'acide azotique le dissout à froid, en donnant naissance à du triazotate de bismuth.

Tous les sels solubles, dans lesquels le bismuth joue le rôle d'élément positif, sont décomposables par l'eau avec formation d'un sel basique qui se précipite, et mise en liberté d'une certaine quantité d'acide qui maintient une portion du sel neutre indécomposé.

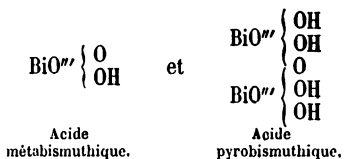
Les sels de bismuth ne sont précipités ni par l'acide chlorhydrique, ni par l'acide sulfurique. L'ammoniaque y détermine la formation d'un précipité blanc insoluble dans un excès de réactif.

L'acide sulphydrique y fait naître un précipité noir insoluble dans le sulfure d'ammonium et soluble dans l'acide azotique bouillant.

Le chlore se combine au bismuth en donnant un chlorure qui a pour formule  $\text{BiCl}^3$ . Ce chlorure est soluble dans l'eau chargée d'acide chlorhydrique. Une plus grande quantité d'eau décompose cette solution et en précipite un oxychlorure  $\text{BiOCl}$  qui, avant d'être desséché, est représenté par la formule  $2\text{BiOCl} + \text{H}^2\text{O}$ . En calcinant le sous-azotate de bismuth préparé comme il a été dit plus haut, on obtient un oxyde dont la formule est  $\text{Bi}^2\text{O}^3$ . Cet oxyde est un anhydride basique. On peut aussi obtenir l'hydrate  $\text{BiHO}^3$  en précipitant un sel soluble de bismuth par la potasse. Cet hydrate est le premier anhydride de l'hydrate inconnu  $\text{BiH}^2\text{O}^3$ .

L'hydrate précédent étant mêlé à une solution très-concentrée de potasse, et le mélange soumis à l'action d'un courant de chlore, il se sépare une matière rouge de sang qui, traitée par les acides, abandonne de l'acide bismuthique. Cet acide se transforme par l'action de la chaleur en anhydride bismuthique  $\text{Bi}^2\text{O}^3$ , poudre brune.

On connaît deux acides bismuthiques, correspondant aux acides méta- et pyro-phosphorique.



On a aussi décrit un oxyde de bismuth intermédiaire  $\text{Bi}^2\text{O}^4$ , correspondant à l'oxyde d'antimoine intermédiaire, qu'on doit regarder comme un bismuthate de bismuthyle  $\text{BiO}'' \left\{ \begin{array}{l} \text{O} \\ \text{O} \end{array} \right. (\text{BiO})'$ .

En fondant le bismuth avec le soufre on obtient un sulfure  $\text{Bi}^2\text{S}^3$ , que l'on peut préparer aussi à l'état hydraté, en faisant passer un courant d'acide sulfhydrique dans la dissolution d'un sel de bismuth.



Poids atomique = 120    Poids moléculaire probable = 180

On obtient l'uranium à l'état de liberté en décomposant à chaud son protochlorure par le potassium. L'uranium reste sous la forme d'une poudre gris foncé en partie agglomérée.



Chauffé au rouge blanc dans un creuset avec du chlorure de sodium, l'uranium devient blanc jaunâtre, dur, semi-malléable. Sa densité est alors de 18,4, il prend une teinte jaune au contact de l'air.

Il brûle dans le chlore lorsqu'il est à l'état pulvérulent, il s'unit également au soufre avec dégagement de lumière à la température d'ébullition de ce corps. Les acides le dissolvent avec dégagement d'hydrogène, et les solutions sont vertes lorsque l'acide n'est pas en même temps un agent oxydant.

L'uranium peut brûler à l'air avec une vive incandescence.

Il forme plusieurs composés avec l'oxygène, deux surtout sont intéressants. C'est le protoxyde  $UO$  et le sesquioxyde  $U^2O^5$ . Tous deux, en effet, à la manière du sesquioxyde d'antimoine, fonctionnent comme des anhydrides basiques. Le sesquioxyde fait cependant aussi fonction d'anhydride acide; à chacun de ces deux oxydes correspond donc une série de sels et au sesquioxyde correspondent des uranates.

Nous ne nous occuperons ici que du sesquioxyde, qui seul a une importance théorique.

**Sesquioxyde d'uranium**  $U^2O^5$ . Il existe un minéral, la pechblende de Bohême, qui est surtout composé d'uranium oxydé. Si l'on chauffe ce minéral avec de l'acide azotique, on obtient une solution jaune qui contient de l'azotate uranique. La solution évaporée à siccité laisse un résidu que l'on soumet à l'action de l'éther: ce liquide dissout l'azotate uranique et laisse les autres corps. On évapore l'éther à la température ordinaire, et l'on a ainsi l'azotate uranique pur. Il suffit de calciner ce sel à  $250^\circ$  pour le transformer en sesquioxyde d'uranium  $U^2O^5$ .

En évaporant à siccité une solution alcoolique d'azotate uranique, et lavant avec de l'eau le résidu de la réaction vive qui se manifeste à la fin de l'opération, M. Malaguti a obtenu un hydrate uranique  $\left. \begin{matrix} UO \\ H \end{matrix} \right\} O$ . Cet hydrate est le premier anhydride de l'hydrate

normal inconnu  $\left. \begin{matrix} U'' \\ H^3 \end{matrix} \right\} O^5$ .

Les sels uraniques dérivent tous de ce premier anhydride par la substitution d'un radical acide à H. Ils ont donc pour formule générale  $\left. \begin{matrix} UO \\ R \end{matrix} \right\} O$ . On n'en connaît aucun qui dérive de l'hydrate normal

normal  $\left. \begin{matrix} U'' \\ H^3 \end{matrix} \right\} O^5$  et qui ait pour formule  $\left. \begin{matrix} U'' \\ R^3 \end{matrix} \right\} O^5$ .

Ce fait analogue à celui que nous avons déjà eu l'occasion de constater en nous occupant de l'antimoine, n'a rien qui soit de surprenant. Nous savons qu'à tous les hydrates basiques acides qui renferment plus de deux atomes d'hydrogène, correspondent des anhydrides faisant encore fonction d'acides bases, et susceptibles par conséquent de donner des sels. Selon les corps, tantôt c'est le groupement de l'hydrate normal qui est le plus stable; dans ce cas, les principaux sels présentent ce groupement, et si l'on en obtient qui dérivent des anhydrides sont instables et tendent sans cesse à revenir au groupement de l'hydrate normal; tantôt, au contraire, c'est le groupement de l'anhydride qui a le plus de stabilité. Les sels présentent au contraire le groupement de l'hydrate normal, et si quelquefois on en obtient qui dérivent de l'anhydride, ils tendent toujours à revenir au type de l'hydrate normal, ils tendent toujours à revenir au type de l'anhydride. Il peut même arriver que les corps appartenant à ce type de l'hydrate normal soient assez instables pour qu'ils ne puissent être préparés.

Nous avons un exemple de ce premier ordre de faits dans le phosphore et ses sels. Nous avons un exemple du second ordre dans les sels uraniques et antimoniaux.

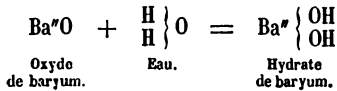
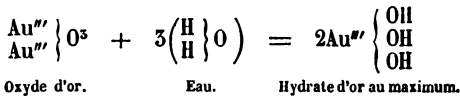
Autrefois, lorsque l'atonicité n'était point encore connue, on se représentait la formation des sels d'une tout autre manière. On croyait que tous les corps de la nature sont formés de deux groupes simples ou composés doués de polarité électrique contraire et se saturant réciproquement.

Dans les sels oxygénés, par exemple, on admettait l'existence de deux groupes oxygénés séparés, dont l'un prenait le nom de base et l'autre le nom d'acide. Cette théorie est connue dans l'histoire de la science sous le nom de théorie dualistique.

Dans cette théorie, le sulfate de potassium  $\text{K}_2\text{SO}_4$  }  $\text{O}^2$ , je suppose s'écrivait  $\text{K}_2\text{O}, \text{SO}_3$ , on y admettait l'existence de deux groupes formés, dont l'un  $\text{K}_2\text{O}$  (anhydride basique) recevait le nom de base et l'autre  $\text{SO}_3$  (anhydride acide) recevait le nom d'acide. Quant à nos acides normaux et à nos bases normales, c'est pour les dualistes des combinaisons d'un acide ou d'une base avec l'eau. Ils écrivaient l'acide sulfurique  $\text{SO}_3, \text{H}_2\text{O}$  et la potasse  $\text{K}_2\text{O}$ . Ils ne le pouvaient le plus souvent qu'en doublant des for

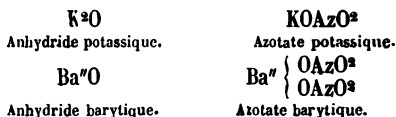
ons plus exactes sur les poids moléculaires nous ont  
 e plus simples, ou en acceptant pour *équivalents* des  
 itié plus petits que nos poids atomiques actuels. Ainsi,  
 ue  $AzO^2$  ne pouvait être écrit que  $Az^2O^4, H^2O = Az^2H^2O^4$ ,  
 rmule était le double de la formule vraie, ou  $AzO^2, HO$ ,  
 isait  $O = 8$ , tandis qu'en réalité, le poids atomique de  
 16. Parmi les diverses raisons qui ont porté les chi-  
 ndonner la théorie dualistique, celle-là est la plus  
 héorie, en effet, est en désaccord soit avec nos poids  
 , soit avec nos poids atomiques.

ous avons un anhydride basique qui renferme plu-  
 s d'oxygène, nous disons aujourd'hui qu'à cet anhy-  
 ydant un hydrate maximum, et souvent des anhy-  
 rant encore de l'hydrogène; nous appelons les  
 drates, et les sels qui en dérivent, sels normaux,  
 icier ces corps de tous ceux qui présentent le grou-  
 anhydrides. Nous savons de plus que, quand le corps  
 iné avec l'oxygène a une atomicité impaire, l'hy-  
 it par double décomposition, et renferme autant  
 que l'oxyde contenait d'oxygène, tandis que si l'ato-  
 aire, l'hydrate se fait par addition et renferme autant  
 oxhydriques que l'oxyde contenait d'oxygène.

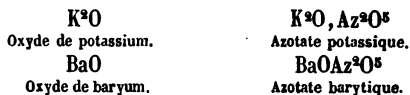


te les sels normaux proviennent de la substitution d'un  
 e à l'hydrogène typique des bases normales, on voit  
 ne relation entre le nombre d'atomes d'oxygène que  
 1 oxyde basique, et le nombre de radicaux acides qui  
 des sels normaux neutres dérivés de ces oxydes.  
 ns le cas des oxydes renfermant des éléments d'atomi-  
 e, les sels normaux neutres doivent renfermer autant  
 adical d'un acide monatomique que ces oxydes renfer-  
 ygène. Ils en doivent renfermer un nombre double

dans le cas des oxydes basiques renfermant des éléments à valence paire.



Pour les dualistes, cette différence entre la constitution qui renferme des éléments d'atomicité impaire, et ceux qui renferment des éléments d'atomicité paire n'existait pas. Ne sachant pas l'atomicité, ils doubleraient les premiers ou dédoubleraient les seconds et tout devenait semblable. Ainsi les sels que nous avons pris pour exemple devenaient pour eux ou :



Ou



en faisant dans le second cas  $O = 8$  et  $Ba = 68,5$  au lieu de  $O = 16$  et  $Ba = 137$ .

Comme on le voit, à l'aspect de ces formules dualistiques, la quantité d'acide contenu dans un sel neutre normal, était toujours égale au nombre d'atomes d'oxygène contenu dans la base. C'est la loi de Richter :

Dans les sels neutres [neutres normaux (\*)], il y a un rapport constant entre l'acide et l'oxygène de la base.

Loi que Berzelius exprimait ainsi : Pour un même genre de sels neutres, il y a un rapport constant entre l'oxygène de l'acide et l'oxygène de la base.

Ainsi l'azotate de potassium étant pour les dualistes  $KO, AzO^5$ , le rapport de l'oxygène de la base à celui de l'acide est 1 à 5. Ce même rapport devant se rencontrer dans tous les azotates normaux, si la base contient  $O^2$  l'acide devra contenir  $O^{10}$ , c'est-à-dire le sel devra renfermer deux fois  $AzO^5$ . Si la base contient  $O^4$  devra renfermer  $3AzO^5$  et ainsi de suite.

(\*) C'est-à-dire dérivant d'un hydrate normal ou saturé.

exemple, l'azotate neutre de potassium étant  $\text{KO}, \text{AzO}^3$ , le fer de fer au maximum était  $\text{Fe}^2\text{O}^3, 3\text{AzO}^3$ , et aurait  $\text{FeO}^3$ , si l'on avait admis alors, pour le sesquioxyde de fer, un équivalent égal à son poids moléculaire, qui est 160, au lieu d'un équivalent de 80.

d'antimoine et d'uranium ne rentrant plus dans la règle, ont une véritable exception. Ces oxydes renfermant  $\text{O}^3$ , en effet, conformément à la loi de Richter, s'unir à trois fois un acide quelconque pour former des sels neutres, mais ils ne s'unissent qu'à un seul équivalent d'acide.

Pour cette anomalie, M. Peligot admet que dans le sesquioxyde d'uranium  $\text{U}^2\text{O}^3$  (\*), les trois équivalents d'oxygène ne sont pas dans le même état : deux formant avec l'uranium le radical  $\text{UO}^2$ , et l'autre étant combiné à ce radical, comme il l'est dans les autres oxydes, les sels et l'hydrate d'uranium. Lors  $\text{U}^2\text{O}^2\text{O}, \text{HO}$  et  $\text{U}^2\text{O}^2\text{O}, \text{A}$  (A étant un acide quelconque), le rapport normal se trouvait ainsi rétabli, ce rapport n'étant pas entre l'oxygène et l'acide et la totalité de la base, mais entre l'oxygène de l'acide et l'oxygène de la base, c'est-à-dire l'oxygène dont la présence explique ses propriétés basiques.

Pour les poids atomiques de l'uranium  $\text{U} = 120$  et de l'oxygène  $\text{O} = 8$ , le radical  $\text{U}^2\text{O}^2$  devient  $\text{UO}$ ; nous pouvons donc transporter dans nos formules actuelles, et nous devrions le radical  $\text{UO}$  fonctionne dans les sels ura-

ce du radical  $\text{UO}$  dans les sels uraniques n'est pas douteux, nous n'avons exprimé rien autre chose que cette idée en disant que les sels dérivent du premier anhydride de l'hydrate normal. Les sels anhydrides se font, en effet, par la substitution de  $\text{O}$  à

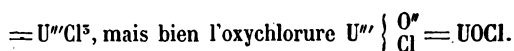
un hydrate. Si donc l'hydrate normal est  $\text{U}'' \begin{cases} \text{OH} \\ \text{OH} \\ \text{OH} \end{cases}$ , le pre-

mier anhydride sera  $\text{U}'' \begin{cases} \text{O}'' \\ \text{OH} \end{cases}$ , formule qui peut être encore écrite

pour montrer que l'hydrogène typique y est uni à l'uranyle par un oxygène intermédiaire de l'oxygène.

\*)  $\text{O} = 8$ .

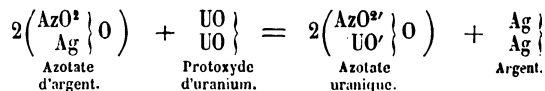
Le groupement de l'hydrate  $\left. \begin{matrix} \text{UO} \\ \text{H} \end{matrix} \right\} \text{O}$  est si stable que le c même lui correspond. En effet, en soumettant le sesquiox y ranium à l'action du chlore, on n'obtient pas le chlorure



Les quelques considérations théoriques que nous venons c permettre à l'occasion de l'uranium, montrent combien no riques actuelles sont plus larges que les théories anciennes, p tels faits y rentrent comme ordinaires et normaux, qui di dernières ne pouvaient être admis qu'à titre d'exception.

Le sesquiox yde d'uranium est d'un jaune vif; fortement c il perd une portion de son oxygène, et se transforme en un vert  $\text{U}^3\text{O}^4$ . Il se dissout facilement dans les acides en form sels jaunes, et dans les solutions alcalines en formant des ur où l'uranyle fonctionne comme un radical acide. Si on le m avec du charbon, et qu'on chauffe ce mélange dans un c d'hydrogène, il se forme du protoxyde d'uranium  $\text{UO}$ , ou  $\text{U}^2\text{O}^3$ ; dans un courant de chlore, le même mélange don chlorure  $\text{UCl}^2$  ou plutôt  $\text{U}^2\text{Cl}^4$ .

Le protoxyde placé dans une solution d'azotate d'argent un dépôt d'argent métallique et un sel uranique; il se con donc comme le ferait une lame de zinc.



**Caractères distincts des sels d'uranium.** Les sels : nimum (sels dérivés du protoxyde, tels que le protochlorure sont verts; ils donnent, avec les alcalis caustiques et l'amn que, un précipité gélatineux noir brun, que l'air jaunit en l sant passer à l'état d'hydrate au maximum.

Les sels uraniques (sels dérivés de l'hydrate  $\left. \begin{matrix} \text{UO} \\ \text{H} \end{matrix} \right\} \text{O}$ ) sont ja les alcalis font naître dans leurs disolutions un précipité j soluble dans un excès de réactif.

Leurs dissolutions alcooliques exposées au soleil verdissent, qu'ils se réduisent en sels au minimum en perdant de l'oxygè

Dans la famille des métalloïdes pentatomiques viennent encore se ranger le *vanadium* V, le *niobium* Nb et le *tantale* Ta ; mais ces éléments sont trop peu importants pour que nous en fassions une étude détaillée.

## GÉNÉRALITÉS SUR LES MÉTALLOÏDES PENTATOMIQUES.

Le caractère fondamental des métalloïdes de cette famille, c'est qu'ils sont pentatomiques ; ils peuvent s'unir à cinq ou à trois atomes monatomiques, en formant des combinaisons qui appartiennent aux deux types  $R''X^5$  et  $R'X^5$ .

Il est remarquable que lorsqu'un seul radical monatomique entre en combinaison avec un de ces corps, le composé a une grande tendance à affecter le groupement  $RX^5$ , tandis que lorsque deux radicaux différents interviennent en même temps, c'est le groupe  $RX^5$  qui se forme de préférence.

Le bismuth et l'uranium font exception aux lois précédentes ; ils ne forment jamais de composés correspondants à la formule  $RX^5$ . Néanmoins, si l'on considère qu'à partir de l'azote, la stabilité des composés dont nous parlons va en décroissant ; si l'on considère, de plus, que les combinaisons du bismuth et de l'uranium avec l'oxygène présentent les plus étroites relations avec les combinaisons oxygénées de l'antimoine, on est obligé d'admettre que le bismuth et l'uranium appartiennent à la famille des métalloïdes pentatomiques, et que si l'on ne connaît pas ceux de leurs composés qui répondraient à la formule  $RX^5$ , c'est qu'ils sont trop instables pour qu'on ait pu les préparer.

Dans le cas du bismuth on connaît cependant l'acide bismuthique, dans lequel ce métalloïde fonctionne comme pentatomique.

Chez le vanadium, le niobium et le tantale c'est au contraire le type  $RX^5$  qui est le plus stable, car la plupart des combinaisons de ces métalloïdes viennent s'y ranger.

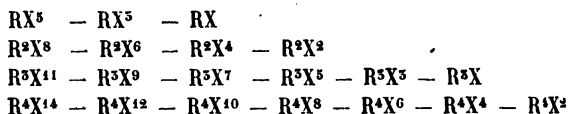
Ceux de ces métalloïdes qui se combinent à l'hydrogène donnent des composés dont la formule est  $RH^5$ . Lorsque le radical R est de l'azote, le composé se combine avidement aux acides pour passer au groupement  $RX^5$ .



Si le radical R est du phosphore, la réaction précédente n'est plus possible qu'avec les acides bromhydrique et iodhydrique, et encore les composés formés sont-ils instables.

L'hydrogène arsénié et l'hydrogène antimonié ne s'unissent jamais ni aux hydracides, ni aux oxacides. C'est seulement lorsque leur hydrogène a été remplacé par des radicaux organiques que le groupement peut se compléter par la fixation de deux nouveaux radicaux monatomiques.

Nous savons que les radicaux polyatomiques ont la faculté de s'accumuler dans les molécules en perdant une fraction de leur capacité de saturation égale à  $2n - 2$ , en appelant  $n$  le nombre d'atomes accumulés dans une même molécule. Nous savons aussi que tout composé qui contient des composés monatomiques peut perdre successivement : une, deux, trois.... $n$  molécules de ces derniers, en donnant naissance à des corps non saturés. D'après ce principe, un corps de cette famille devrait pouvoir donner naissance, avec les radicaux monatomiques, aux composés suivants :



On connaît très-peu de ces produits de condensation ; pourtant il y a deux composés du phosphore et un composé de l'arsenic qui correspondent évidemment à deux de ces formules. Ce sont l'hydrogène phosphoré liquide  $\text{P}^2\text{H}^4$ , l'hydrogène phosphoré solide  $\text{P}^4\text{H}^8$  et l'arséniure d'hydrogène solide  $\text{As}^4\text{H}^8$ .

Les métalloïdes pentatomiques peuvent aussi s'unir à l'oxygène et aux radicaux diatomiques en général. Ces derniers radicaux ayant la faculté de s'accumuler indéfiniment, le nombre des composés possibles est ici innombrable. Cependant, comme l'addition d'un nombre quelconque d'atomes d'un radical d'atomicité paire à un de ces métalloïdes ne peut donner qu'un radical composé d'atomicité impaire, et que ces radicaux ne peuvent exister à l'état de liberté, l'oxygène et ses congénères ne devraient se combiner aux corps de la famille de l'azote qu'à la condition, pour le composé formé, de contenir deux atomes du métalloïde pentatomique (nous parlons des composés isolables et non des radicaux qui peuvent fonctionner dans les combinaisons). Toutefois, à cette règle si



conforme à tout ce que nous connaissons, il y a deux exceptions : celle du protoxyde d'azote, dont la formule est  $AzO$  et non  $Az^2O^2$ , et celle de l'hypoazotide, dont la formule est  $AzO^2$  et non  $Az^2O^4$ .

## APPENDICE AUX MÉTALLOÏDES.

**Air atmosphérique.** La composition qualitative de l'air atmosphérique fut déterminée pour la première fois par Lavoisier, au moyen de l'expérience que nous allons décrire.

Lavoisier prit un ballon B (fig. 31), dont il recourba deux fois le

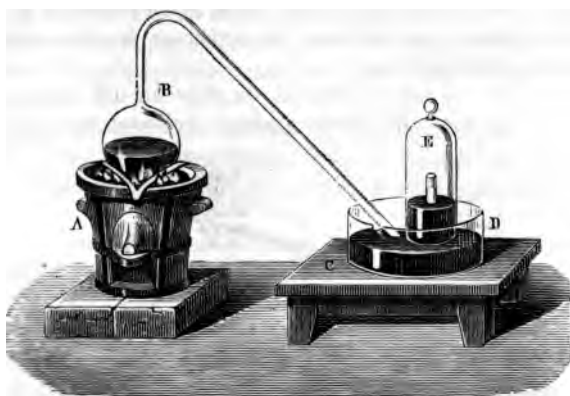


Fig. 31.

col très-long ; dans le ballon il plaça du mercure et il engagea l'extrémité libre du col sous une cloche pleine d'air E, placée sur une cuve à mercure D. L'air contenu dans le ballon pouvait librement communiquer avec celui que renfermait la cloche.

L'appareil étant ainsi disposé, Lavoisier chauffa pendant douze jours le ballon, à une température voisine du point d'ébullition du mercure. Il observa : 1° que le mercure du ballon se recouvrait d'une couche rouge ; 2° que le volume d'air de la cloche diminuait.

Après douze jours, le volume gazeux ne diminuant plus et la couche rouge ne paraissant plus augmenter, Lavoisier arrêta l'opération.

Il reconnut alors que le gaz renfermé dans la cloche avait les

propriétés que nous avons décrites comme appartenant à l'azote. Il recueillit, d'un autre côté, la couche rouge qui s'était produite, et il la chauffa fortement dans un petit tube fermé à une de ses extrémités. Le mercure se régénéra, et il se dégagait un gaz auquel Lavoisier reconnut les propriétés que nous avons dit appartenir à l'oxygène. Enfin, en mélangeant le résidu de l'air avec le gaz dégagé par la calcination de la poudre rouge, il reconstitua de l'air atmosphérique avec toutes ses propriétés.

Cette expérience capitale démontra que l'air est composé de deux gaz auxquels Lavoisier donna les noms que nous leur donnons encore aujourd'hui; mais elle ne pouvait fixer que très-approximativement sa composition quantitative. C'est à quoi s'appliquèrent les expérimentateurs qui suivirent. De nombreux procédés ont été successivement employés.

ANALYSE DE L'AIR PAR LE PHOSPHORE. On place sur une cuve à mercure (*fig. 32*) une petite cloche graduée contenant une quantité

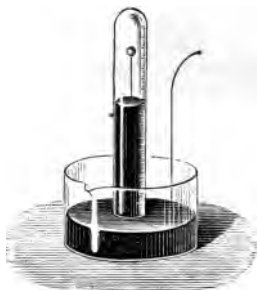


Fig. 32.



Fig. 33.

mesurée d'air; on introduit dans cette cloche une boule de phosphore supportée par un fil de fer, et l'on abandonne l'appareil à lui-même jusqu'à ce que le volume gazeux ne diminue plus; ce qui exige un à deux jours. On mesure alors le volume restant, qui est de l'azote, et, en déduisant ce chiffre du volume primitif, on obtient le volume de l'oxygène. On peut, au lieu d'opérer comme il vient d'être dit, chauffer un morceau de phosphore dans une cloche courbe (*fig. 33*) avec une petite lampe à alcool que l'on tient à la main. La combinaison de l'oxygène et du phosphore est alors très-rapide.

De quelque manière qu'on opère, on trouve que 100<sup>cc</sup> d'air laissent un résidu de 79<sup>cc</sup>, ce qui donne 21<sup>cc</sup> pour l'oxygène disparu.

**ANALYSE DE L'AIR PAR LE CUIVRE ET LES ACIDES.** En présence des acides, le cuivre absorbe l'oxygène. Si donc, dans une éprouvette qui renferme un volume d'air connu, on place une lame de cuivre humectée avec de l'acide sulfurique, après un certain temps, le métal aura absorbé tout l'oxygène, et il ne restera dans l'éprouvette que de l'azote pur qu'on pourra mesurer.

**PROCÉDÉ PAR L'ACIDE PYROGALLIQUE ET LA POTASSE.** Au contact de la potasse, l'acide pyrogallique absorbe l'oxygène. On n'a donc qu'à agiter un tube plein d'air placé sur le mercure, après y avoir introduit successivement, au moyen d'une pipette courbe, de l'acide pyrogallique et de la potasse, et à mesurer le gaz qui reste après l'absorption. Ce gaz consiste en azote pur. Par différence on détermine l'oxygène.

**PROCÉDÉ EUDIOMÉTRIQUE.** On introduit dans un eudiomètre un volume mesuré d'air atmosphérique V, et un volume également mesuré d'hydrogène V', ce qui donne pour le volume du mélange la somme V+V'.

On fait passer l'étincelle électrique, et après l'explosion on mesure le gaz qui reste, soit son volume V''; V+V'-V'' représente le gaz disparu par la combustion. Or le gaz disparu est passé à l'état d'eau, et le mélange d'hydrogène et d'oxygène capable de se transformer intégralement en eau renferme  $\frac{1}{3}$  d'oxygène. Donc le volume V d'air renfermait  $\frac{V+V'-V''}{3}$  d'oxygène et  $V - \frac{V+V'-V''}{3}$  d'azote.

On trouve par ce procédé, comme lorsqu'on fait l'analyse au moyen du phosphore, que l'air contient en centièmes :

Oxygène . . . . .	21 volumes.
Azote. . . . .	79

**PROCÉDÉ DE MM. DUMAS ET BOUSSINGAULT.** Dans cette méthode, les éléments constituants de l'air sont dosés en poids. De plus, on pourrait, au besoin, déterminer dans la même expérience, non-seulement l'oxygène et l'azote, mais encore l'anhydride carbonique et la vapeur d'eau que l'air renferme.

L'appareil se compose (*fig. 34*) : 1° d'un grand ballon A, garni à sa partie supérieure d'une armature en cuivre portant un robinet pneumatique R, au-dessus duquel est mastiqué un tube de verre

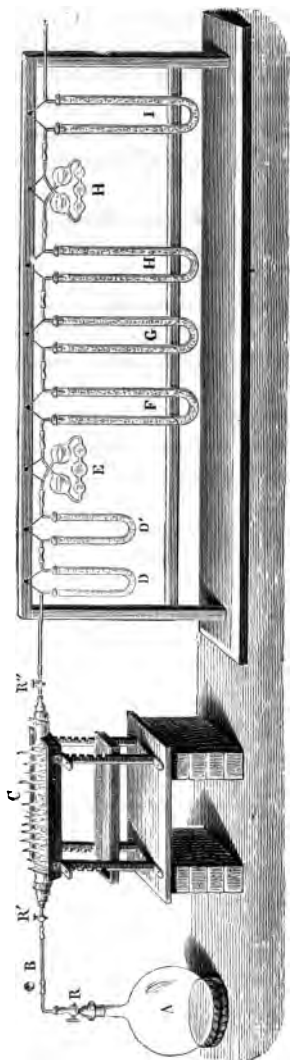


Fig. 54.

coudé B. 2° Ce tube est en communication par l'intermédiaire d'un robinet de cuivre R' avec un autre tube plus grand en porcelaine, placé sur une grille de tôle C. 3° Le tube de porcelaine est fermé à l'autre extrémité par un robinet R'', au moyen duquel il communique avec une série de tubes en U et de tubes de Liebig pleins soit de potasse liquide, soit de pierre ponce humectée de potasse, soit de potasse solide, soit d'acide sulfurique, soit de pierre ponce humectée d'acide sulfurique. Ces tubes sont destinés à absorber l'anhydride carbonique et la vapeur d'eau de l'air.

Avant l'opération on fait le vide dans le ballon A, après quoi on en détermine le poids  $p$ . On remplit le tube de porcelaine de tournure de cuivre, puis on y fait le vide et l'on en détermine le poids  $p'$ ; enfin, si l'on veut doser l'eau et l'anhydride carbonique, on pèse l'ensemble des appareils à potasse et l'ensemble des appareils à acide sulfurique.

Cela fait, on monte l'appareil. On chauffe au rouge le tube qui renferme le cuivre métallique, puis on ouvre le robinet R'', en ayant soin de ne faire entrer l'air que lentement. Lorsque ce tube est plein de gaz, ce que l'on reconnaît à ce qu'aucune bulle d'air ne passe plus dans

les tubes à boules, on ouvre avec précaution le robinet R'. L'air se précipite alors dans le ballon. Enfin, quand l'air cesse de passer, on ferme les robinets R, R' et R'' et l'on démonte l'appareil.

L'air, en passant sur le cuivre chauffé au rouge, abandonne son oxygène au métal, de sorte que le tube de porcelaine contient à la fin de l'opération tout l'oxygène de l'air décomposé. Quant à l'azote, il remplit à la fois ce tube et le ballon A.

On pèse le ballon A plein d'azote. Soit P son poids ; P — p représente le poids de l'azote qu'il renferme.

On pèse également le tube de porcelaine plein d'azote, soit P' son poids. On y fait ensuite le vide et on en détermine le poids P''. P' — P'' indique la quantité d'azote que renfermait ce tube, et par suite la quantité totale d'azote est : P — p + P' — P''.

D'un autre côté, P'' — p' représente le poids de l'oxygène fixé sur le cuivre.

Enfin représentons par Q et par Q' le poids de l'eau et de l'anhydride carbonique condensés dans les tubes placés en avant de l'appareil.

Le poids de l'air décomposé, étant nécessairement égal à la somme de celui des divers éléments qui le constituent, est donc :

$$P - p + P' - P'' + P'' - p' + Q + Q'.$$

On connaît donc les poids d'azote, d'oxygène, d'anhydride carbonique et de vapeur d'eau contenus dans un poids d'air déterminé. On n'a plus qu'à transformer ces nombres en volumes par le calcul, en se basant sur les densités de l'oxygène et de l'azote.

MM. Dumas et Boussingault ont démontré de cette manière que l'air contient en poids :

Oxygène. . . . .	25,15
Azote . . . . .	76,87

et en volumes :

Oxygène. . . . .	20,9
Azote . . . . .	79,1

L'anhydride carbonique et la vapeur d'eau entrent dans l'air en proportion variable. En moyenne, ce fluide contient de 5 à 6 dix-millièmes du premier de ces corps, et 6 à 9 millièmes du second, mais cette quantité est sujette à de très-grandes variations.

Lorsque, après avoir débarrassé l'air de tout l'anhydride carbo-

nique qu'il renferme et l'avoir mêlé à de l'hydrogène, on le soumet à l'étincelle électrique, on constate qu'il se forme une très-petite quantité d'anhydride carbonique qui blanchit l'eau de chaux. Cette expérience démontre qu'outre l'anhydride carbonique, l'air renferme un autre principe carboné combustible dont la nature n'est pas connue. On a également démontré dans l'air des traces d'ammoniaque et M. Barral y a même signalé la présence d'une substance phosphorée. Enfin l'air contient de petites quantités de composés nitreux et d'ozone et des corpuscules solides en suspension.

Après avoir constaté l'invariabilité de la proportion qui existe entre l'oxygène et l'azote de l'air, il reste à rechercher si ces corps y sont combinés ou simplement mélangés.

L'air doit être considéré comme un mélange par les raisons qui suivent :

1° Dans les combinaisons des gaz on observe toujours un rapport simple entre les volumes des gaz combinés et celui du composé formé. De plus, la combinaison s'accompagne constamment de contraction, à moins que les deux gaz qui s'unissent n'entrent dans la combinaison sous des volumes égaux. Or il n'y a aucun rapport simple entre les volumes d'azote et d'oxygène que l'air contient, et la somme de ces volumes représente exactement le volume de l'air sans contraction aucune.

2° Lorsqu'on mêle des quantités d'azote et d'oxygène égales à celles qui constituent l'air, on obtient de l'air doué de toutes ses propriétés. Cependant les thermomètres les plus sensibles ne déclarent aucune élévation de température, et les électroscopes les plus délicats aucun développement d'électricité ; or, dans toute combinaison, il y a élévation de température et développement d'électricité.

3° Dans l'air, l'azote et l'oxygène conservent les solubilités qui leur sont propres, et comme l'oxygène est plus soluble que l'azote. l'air qu'on retire de l'eau est plus riche en oxygène que l'air ordinaire. Ce phénomène ne pourrait se produire si l'air était une combinaison, car alors les deux gaz qui le constituent auraient perdu chacun leur solubilité pour acquérir une solubilité commune.

4° On sait que le pouvoir réfringent des gaz composés est toujours plus grand ou plus petit que la moyenne de ceux de leurs éléments. L'air, au contraire, a un pouvoir réfringent qui est égal

à la somme moyenne du pouvoir réfringent de ses éléments.

L'air doit en grande partie l'invariabilité de sa constitution à sa masse énorme, qui rend les variations peu appréciables. Il la doit aussi à l'action des végétaux, dont les parties vertes décomposent l'anhydride carbonique sous l'influence de la radiation solaire et rendent l'oxygène à l'atmosphère. Toutefois la quantité de l'anhydride carbonique produit paraît être supérieure à celle de l'oxygène rendu, de sorte que l'invariabilité observée ne serait qu'apparente et tiendrait seulement au petit nombre d'années qui se sont écoulées depuis que l'on connaît la composition de l'air.

Il est probable qu'avant l'apparition des animaux sur le globe, alors que la végétation existait seule, la composition de l'air se modifiait d'une manière inverse, c'est-à-dire que la proportion d'anhydride carbonique allait diminuant et la proportion d'oxygène augmentant.

Ne serait-il pas possible qu'après une immense période d'années l'air devint impropre à la respiration des animaux, de sorte que de nouveau la végétation existerait seule sur ce globe pendant une longue série de siècles, jusqu'à ce que ces êtres eussent rendu l'air une seconde fois propre à la respiration des animaux ?

Il est même possible qu'avant l'époque extrêmement éloignée où probablement toute vie disparaîtra de la surface de la terre, plusieurs périodes semblables puissent se succéder.

# MÉTALX

## CLASSIFICATION

Jusqu'ici la classification que l'on trouve dans les livres est toute artificielle; elle a été introduite dans la science par Thenard et est basée sur l'action que la chaleur exerce sur les oxydes métalliques, et sur la propriété qu'ont les métaux de décomposer l'eau à des températures plus ou moins élevées, ou de ne pas la décomposer du tout.

Les métaux sont d'abord rangés en deux sections; la première renferme ceux dont les oxydes sont indécomposables par la chaleur seule, et la seconde ceux dont la chaleur suffit à décomposer les oxydes.

### PREMIÈRE SECTION.

#### **Métaux dont les oxydes sont indécomposables par la chaleur seule.**

Cette section renferme les cinq classes suivantes :

##### 1<sup>re</sup> CLASSE. — *Métaux décomposant l'eau à froid.*

Potassium.	Césium.
Sodium.	Baryum.
Lithium.	Strontium.
Rubidium.	Calcium.

Les cinq premiers de ces métaux ont reçu le nom de métaux alcalins, et les trois derniers le nom de métaux alcalino-terreux.

##### 2<sup>e</sup> CLASSE. — *Métaux décomposant l'eau à + 100°.*

Magnésium.	Didyme.
Cérium.	Glucinium.
Lanthane.	Yttrium.



Erbium.	Thorium.
Zirconium.	Aluminium.

Ces métaux sont généralement connus sous le nom de métaux terreux.

3<sup>e</sup> CLASSE. — *Métaux décomposant l'eau au rouge et dégageant de l'hydrogène à froid sous l'influence des acides étendus.*

Manganèse.	Cobalt.
Zinc.	Vanadium.
Fer.	Cadmium.
Nickel.	Chrome.

4<sup>e</sup> CLASSE. — *Métaux décomposant l'eau au rouge et ne dégageant pas d'hydrogène à froid au contact des acides.*

Étain.	Tungstène.
Antimoine.	Niobium.
Uranium.	Tantale.
Titane.	Osmium.
Molybdène.	

5<sup>e</sup> CLASSE. — *Métaux ne décomposant l'eau qu'au rouge blanc et ne dégageant pas d'hydrogène à froid sous l'influence des acides.*

Cuivre.	Bismuth.
Plomb	

#### DEUXIÈME SECTION.

#### **Métaux dont les oxydes sont décomposables par la chaleur seule.**

Cette section ne renfermait qu'une seule classe dans la classification primitive de Thenard; elle a été divisée en deux par M. Regnault.

6<sup>e</sup> CLASSE. — *Métaux ne décomposant l'eau à aucune température, susceptibles d'absorber l'oxygène à une certaine température, et dont une chaleur plus intense réduit les oxydes.*

Mercure.	Rhodium.
----------	----------

7<sup>e</sup> CLASSE. — *Métaux n'absorbant l'oxygène à aucune température ne décomposant jamais l'eau et dont les oxydes sont réduits par la chaleur.*

Argent.	Palladium.
Or.	Ruthénium.
Platine.	Iridium.

Cette classification que nous ne donnons qu'au point de vue torique, ne suffit plus aujourd'hui.

1<sup>o</sup> Dans plusieurs classes figurent des corps qui doivent être gés parmi les métalloïdes. La quatrième classe en est com presque complètement, et peut-être même complètement, car bien possible que le tungstène, le molybdène et l'osmium pa au rang de métalloïdes.

2<sup>o</sup> Des corps qui ont dans leurs propriétés des analogies n festes sont éloignés les uns des autres par suite d'une diffé observée dans des caractères d'une valeur secondaire. C'est que des corps comme l'aluminium et le fer sont placés dan classes différentes, bien que présentant de très-grandes res blances.

3<sup>o</sup> Même au point de vue arbitraire où s'est placé son aut cette classification doit être refaite. Des corps tels que l'alumir et le magnésium, qui y figurent comme décomposant l'eau à l ne la décomposent en réalité qu'au rouge, ainsi que MM. Sai Claire Deville et Debray l'ont démontré.

La classification rationnelle serait celle qui grouperait les taux d'après leur atomicité. En laissant de côté l'étain, le titane thorium, l'antimoine, le bismuth; l'uranium, le vanadium, niobium et le tantale, que nous avons classés parmi les mé loïdes, on pourrait adopter la classification suivante :

1<sup>re</sup> CLASSE. — *Métaux monatomiques.*

Argent.	Potassium.
Lithium.	Rubidium.
Sodium.	Césium.

2<sup>e</sup> CLASSE. — *Métaux diatomiques.*

Calcium.	Strontium.
Baryum.	Magnésium.

Cérium.	Zinc.
Lanthane.	Cadmium.
Didyme.	Cuivre.
Yttrium.	Mercure.
Erbium.	

3° CLASSE. — *Métaux triatomiques.*

Or.	Indium.
Thallium.	

4° CLASSE. — *Métaux tétratomiques.*

Aluminium.	Cobalt.
Glucinium.	Nickel.
Manganèse.	Plomb.
Fer.	Platine.
Chrome.	Palladium.

5° CLASSE. — *Métaux pentatomiques.*

On ne connaît aucun métal appartenant à cette classe.

6° CLASSE. — *Métaux hexatomiques.*

Molybdène.	Osmium.
Tungstène.	Rhodium.
Iridium.	Ruthénium.

ns dans la première édition de cet ouvrage :  
 classification est peut-être un peu hardie ; plusieurs mé-  
 rangés comme tétratomiques dont on n'a jamais ob-  
 nposés correspondant à la formule  $MX^4$ , mais seule-  
 nposés  $M^2X^6$ . Plusieurs même figurent dans cette classe  
 onnaisse jusqu'ici leurs composés de ce dernier ordre.  
 classe, nous avons placé l'iridium et le ruthénium,  
 achlorures et bromures ne sont point connus.  
 l'on admet, comme j'ai été le premier à le faire, que  
 pparente d'un corps doit être distinguée de son ato-  
 -, celle-ci pouvant être empêchée de se manifester  
 la faiblesse des affinités ; si l'on admet de plus, que  
 : corps paraissent avoir une atomicité différente, on  
 ant les considérer comme ayant une atomicité égale

s'ils présentent de grandes analogies dans leurs propriétés, on n'hésitera plus à accepter la classification qui précède.

« L'azote, en se combinant à l'hydrogène, au chlore et aux autres métalloïdes monatomiques, forme seulement des composés correspondant à la formule  $AzX^3$ , tandis que le phosphore forme avec le chlore le composé  $PCl^3$ .

« Supposons que les acides qui se combinent à l'ammoniaque et complètent le groupe  $AzX^5$  fussent inconnus, l'azote serait dit triatomique et le phosphore pentatomique.

« Partant d'ailleurs de la pentatomicité constatée du phosphore, on pourrait considérer l'azote comme pentatomique, et, de fait, on serait dans le vrai, puisque nous savons par les sels ammoniacaux que telle est l'atomicité de ce corps.

« Je suppose que, pour un grand nombre de corps, nous sommes dans la position où nous serions vis-à-vis de l'azote, si les sels ammoniacaux étaient inconnus et j'établis l'atomicité de ces corps en me basant sur les relations qu'ils présentent avec d'autres corps dont l'atomicité n'est pas douteuse.

« Je me base également sur ce fait que deux atomes d'une atomicité quelconque en se combinant entre eux, perdent deux unités de leur force attractive, pour affirmer qu'un corps qui donne des composés de l'ordre  $M^2X^6$  est tétratomique. Il est, en effet, nécessaire que M soit tétratomique pour que le groupe  $M^2$  puisse avoir une atomicité égale à 6.

« Je sais que mon raisonnement repose sur des hypothèses. Mais quand n'en fait-on pas dans la science? La théorie atomique elle-même est-elle autre chose qu'une hypothèse?

« Mon hypothèse rend bien compte de tous les faits, elle permet de sortir enfin de l'ornière en rejetant la vieille classification des métaux et en adoptant une nouvelle. Cela seul est un titre qui doit la faire prendre en considération. »

Depuis cette première édition, l'expérience est venue justifier notre hypothèse. M. Niklès ayant réussi à donner de la stabilité aux chlorures métalliques qui en ont le moins, en les combinant avec les éthers, a démontré l'existence du chlorure de manganèse  $MnCl^4$ . La tétratomicité du manganèse est donc aujourd'hui certaine, et l'analogie ne permet plus de douter que les métaux du même groupe ne soient tétratomiques comme lui.

## PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES MÉTAUX.

ils sont tous opaques ; mais, semblable à toutes les fois où nous est donné d'observer, cette opacité a des limites : à une extrême ténuité, les métaux sont translucides. Les feuilles d'or dont se servent les doreurs laissent passer la lumière verte.

La couleur des métaux vue par transmission doit être complémentaire de celle qu'ils ont lorsqu'on les regarde par réflexion ; elle ne peut admettre pour l'or vu par réflexion une couleur autre que le rouge est complémentaire du vert. Cette conclusion est contraire aux faits.

Si l'on fait réfléchir 8 ou 10 fois un rayon de lumière rouge sur une feuille d'or avant de le recevoir dans l'œil, on s'aperçoit qu'il acquiert une couleur rouge qui ne pouvait être observée par réflexion seule, et qui est cependant sa vraie couleur. La couleur d'un corps vu par réflexion dépend, en effet, de la lumière qu'il absorbe : un corps absorbe les rayons dont l'ensemble forme une couleur complémentaire de celle ainsi observée. Si l'absorption est facile, une seule réflexion suffit pour donner au corps sa couleur véritable ; il doit acquérir, mais si cette absorption est difficile, il faut plusieurs réflexions pour qu'il acquiert sa couleur définitive qu'après que le même rayon a été réfléchi plusieurs fois. C'est le cas de l'or et de quelques métaux, tels que : le cuivre, qui est rouge écarlate ; le fer, qui est jaune ; le zinc, qui est bleu indigo ; le fer, qui est contrairement à ce que semble démontrer l'observation.

Les métaux peuvent cristalliser, et c'est ordinairement le système régulier qu'ils cristallisent, mais tous ont la même tendance à affecter une structure cristalline. La propriété de prendre facilement une structure régulière est d'autant plus grande que leur *ténacité*, c'est-à-dire leur résistance.

Les métaux, les uns peuvent être amenés à l'état de feuille mince lorsqu'on les fait passer entre des cylindres tournant en sens opposés (laminoir), ou lorsqu'on les bat vivement avec un marteau ; on les dit alors malléables. D'autres, au con-

traire, se brisent toutes les fois qu'on cherche à les aplatir ; on les dit cassants. Les premiers seuls peuvent être utilisés à l'état isolé.

Les métaux malléables peuvent non-seulement être réduits en lames, mais encore être étirés en fils. On se sert pour cela d'une plaque d'acier percée d'une série de trous de plus en plus fins ; cet appareil a reçu le nom de filière. Après avoir grossièrement arrondi le métal on l'amincit à une de ses extrémités, soit à l'aide d'un marteau, soit au moyen de la lime, on introduit cette partie amincie dans le plus grand trou de la filière. On la saisit de l'autre côté avec une pince et l'on tire dessus jusqu'à ce que tout le métal soit passé. En répétant ensuite successivement cette opération au moyen de tous les trous de la filière, on obtient des fils d'une grande ténuité.

Pour certains métaux, on peut même dépasser cette limite ; car si l'on enferme un fil très-fin de platine dans un cylindre d'argent, et que l'on tire ce dernier à la filière, on obtient un fil d'un diamètre égal à celui du fil de platine primitif. Le pourtour de ce fil est en argent, mais au centre est un axe de platine ; en le faisant bouillir avec de l'acide azotique on dissout l'argent et il reste un fil de platine d'une ténuité inimaginable, d'autant plus qu'on peut répéter plusieurs fois cette opération.

Pour être tirés à la filière, les métaux doivent présenter de la ténacité, sinon ils ne peuvent résister à la traction sans se rompre. Il en résulte que tous les métaux qui peuvent être réduits à l'état de lames minces ne peuvent point être étirés en fils très-fins. Pour distinguer ces deux propriétés, on a conservé à la première le nom de *malléabilité* et l'on a donné à la seconde celui de *ductilité*.

Cette différence ressort du tableau suivant, où un certain nombre de corps sont successivement disposés dans l'ordre de leur plus grande malléabilité et de leur plus grande ductilité.

ORDRE DE PLUS GRANDE MALLÉABILITÉ.		ORDRE DE PLUS GRANDE DUCTILITÉ.	
1° Or.	6° Platine.	1° Or.	6° Nickel.
2° Argent.	7° Plomb.	2° Argent.	7° Cuivre.
3° Aluminium.	8° Zinc.	3° Platine.	8° Zinc à froid.
4° Cuivre.	9° Fer.	4° Aluminium.	9° Étain.
5° Étain.	10° Nickel.	5° Fer.	10° Plomb.

Généralement, quand on réduit les métaux en lames ou en fils, à un certain moment ils deviennent cassants ; on les dit alors

écrouis. L'écrouissage s'accompagne toujours d'un dégagement de chaleur. En chauffant les métaux écrouis on leur restitue le calorique qu'ils avaient perdu, et avec lui leur flexibilité première. Cette dernière opération porte le nom de recuit.

Tous les métaux conduisent bien la chaleur et l'électricité, mais il y a entre eux de grandes différences à cet égard.

Les métaux sont tous susceptibles de fondre, lorsque la température est suffisamment élevée. Jusqu'à ces dernières années, peu d'entre eux pouvaient être réduits en vapeurs et distillés, mais M. H. Sainte-Claire Deville, à l'aide du chalumeau à gaz hydrogène et oxygène, est parvenu à les volatiliser presque tous.

La densité des métaux est en général supérieure à celle de l'eau. Les métaux alcalins font cependant exception.

**Alliages.** Lorsqu'on allie deux métaux, les propriétés de l'alliage ne sont point intermédiaires, entre celles des deux métaux combinés; ce sont des propriétés nouvelles parfaitement tranchées. C'est ainsi que l'alliage peut être plus dur que chacun des métaux qui en font partie; que sa densité peut être supérieure à la densité moyenne de ses éléments; etc. Ces caractères démontrent que les alliages sont de véritables combinaisons définies, bien qu'il soit souvent difficile d'isoler de pareilles combinaisons à l'état de pureté, et d'en déterminer les formules.

La plupart des composés actuellement employés dans l'industrie sous le nom d'alliages, contenant des métalloïdes (étain, antimoine ou bismuth), ne sont pas de véritables alliages. Toutefois, comme un nom a fort peu d'importance, et qu'on peut, sans danger pour la théorie, désigner quelques composés qui renferment des métalloïdes par la même appellation que s'ils ne contenaient que des métaux, nous continuerons de donner à ces corps le nom d'alliages, afin de nous conformer à la nomenclature usitée.

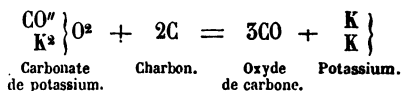
PREMIÈRE FAMILLE (MÉTAUX MONATOMIQUES).



Poids atomique = 39,1    Poids moléculaire probable = 78,2.

Davy, le premier, a obtenu le potassium en décomposant une solution très-concentrée de potasse, par une pile puissante dont le

pôle négatif plongeait dans du mercure placé au fond de la solution. Le métal se dissolvait à l'état d'amalgame et restait pur lorsqu'on soumettait cet amalgame à l'action de la chaleur pour en chasser le mercure. Plus tard, Gay-Lussac et Thenard obtinrent ce métal, en faisant agir le fer chauffé au rouge sur de la potasse fondue. Enfin, aujourd'hui on prépare ce corps en calcinant fortement dans une bouteille de fer un mélange intime de carbonate de potassium et de charbon (flux noir), résultant de la calcination de la crème de tartre. Le potassium distille, et on le reçoit dans un appareil rempli d'huile de naphte :



Pour purifier le potassium on le fond sous l'huile de naphte ; on le filtre à travers un linge qu'on introduit dans cette huile, et enfin on lui fait subir une nouvelle distillation.

Le potassium est un métal blanc qui se ternit rapidement à l'air; il est très-mou, fond à 62°,5 et a une densité égale à 0,86; il se volatilise au rouge en donnant une vapeur verte. C'est un des corps les plus avides d'oxygène que l'on connaisse, bien que le césium et le rubidium le soient encore plus que lui. Il absorbe l'oxygène sec à la température ordinaire et s'y combine bien plus facilement encore à chaud. On est obligé de le conserver dans l'huile de naphte (carbure d'hydrogène) pour le préserver de l'oxydation.

Il décompose l'eau à la température ordinaire et développe alors assez de chaleur pour produire l'inflammation de l'hydrogène mis en liberté. La flamme est colorée en violet par une petite quantité de vapeur de potassium. Lorsqu'on projette un globule de potassium sur l'eau, ce phénomène de combustion se manifeste aussitôt et le métal inflammé court sur la surface du liquide. Quand la combustion cesse, un petit globule de potasse très-chaud, préalablement soulevé par le gaz hydrogène, retombe dans l'eau froide, y éclate, et ses fragments sont lancés de toute part par la vapeur qui se produit en ce point.

#### COMBINAISONS DU POTASSIUM AVEC LES MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES.

Monatomique comme eux, le potassium en s'unissant à ces corps donne naissance à une seule série de composés répondant à la for-

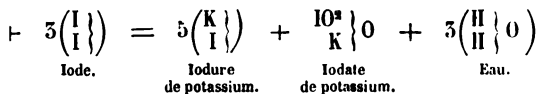


connait le chlorure de potassium KCl ; le bromure KBr ; le fluorure KFl.

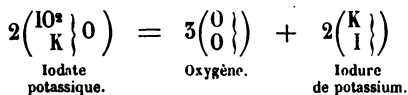
**de potassium KCl.** On l'obtient comme produit de plusieurs industries, et l'on en retire beaucoup de u sel marin et des cendres de varechs, qui en four- à 30 p. 100. Depuis quelques années, on a découvert (Allemagne) des gisements considérables d'un miné- ; chlorure de potassium et de chlorure de magnésium. ssoudre ce minéral dans l'eau bouillante, pour obté- roidissement des cristaux de chlorure de potassium, e magnésium restant en solution.

de potassium cristallise en cubes, sa densité est alé et amer; 100 parties d'eau en dissolvent 29,2 par- 9,3 à la température de l'ébullition. Cinquante gram- l bien pulvérisé, dissous rapidement dans 200<sup>gr</sup> d'eau température jusqu'à 11°,4 au-dessous de zéro.

potassium. On peut obtenir ce corps par plusieurs plus simple consiste à dissoudre de l'iode dans une entrée de potasse jusqu'à ce que la liqueur reste lé- orée. Il se forme ainsi de l'iodure de potassium qui et de l'iodate potassique qui se précipite. La réaction e l'indique l'équation suivante :



à sec la liqueur sans en séparer l'iodate précipité, et au rouge le résidu ; l'iodate, pendant cette opération, 1 iode en dégageant de l'oxygène :



t dans l'eau le résidu de la calcination et l'on fait cris-

ncore préparer l'iodure de potassium en précipitant, nate potassique, la solution d'iodure de fer obtenue en l'iode et de la limaille de fer sous l'eau.

L'iodure de potassium est souvent fraudé avec du potassium ou de sodium. Pour constater cette fraude, on dissout une petite quantité dans l'eau, et l'on ajoute à cette solution assez de nitrate de palladium pour que la liqueur filtrée précipite plus ce réactif. Si cette liqueur précipite alors la nitrate d'argent, ce précipité ne pouvant provenir de l'iodure, a été totalement éliminé par le sel de palladium, on peut conclure que le sel examiné contenait un chlorure.

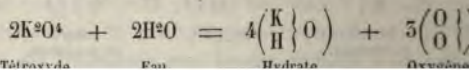
L'iodure de potassium est fort employé en médecine.

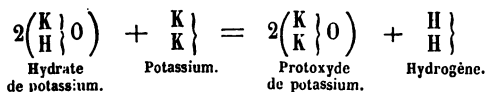
**Bromure de potassium.** KBr. On prépare le bromure de potassium comme l'iodure, avec cette seule différence qu'on utilise le brome à l'iode. Il est très-usité en médecine.

#### COMPOSÉS DU POTASSIUM AVEC LES MÉTALLOÏDES POLYATOMAIRES

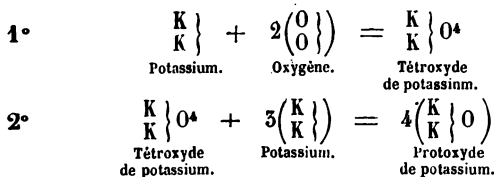
Ces metalloïdes se combinent avec le potassium en plusieurs combinaisons diverses. On connaît les trois oxydes  $K^2O$ ,  $K^2O^2$  et  $K^2O^4$ , les sulfures  $K^2S$ ,  $K^2S^2$ ,  $K^2S^3$ ,  $K^2S^4$  et  $K^2S^5$ .

Des trois oxydes, les deux derniers sont des corps instables au contact de l'eau, donnent de l'hydrate potassique en même temps qu'un dégagement d'oxygène.

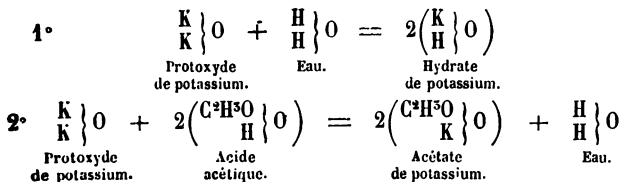




On peut aussi chauffer du potassium dans l'oxygène de manière à obtenir le tétroxyde de ce métal, et calciner ensuite ce tétroxyde dans un creuset d'argent avec une quantité de potassium égale à trois fois celle qu'il renferme.



Le protoxyde de potassium est un anhydride basique puissant, il fait la double décomposition avec l'eau, et avec les acides, en donnant dans le premier cas un hydrate, et dans le second un sel potassique.



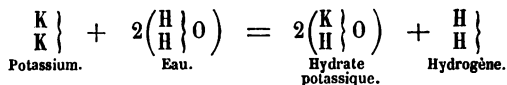
Le protoxyde de potassium n'a aucun emploi, il n'a d'autre intérêt que d'être l'anhydride d'une base puissante.

**Hydrate de potassium (potasse caustique) KHO.** L'hydrate de potassium, plus connu sous le nom de potasse caustique, est une des bases les plus puissantes que l'on connaisse. C'est une substance blanche, à cassure rayonnée, onctueuse au toucher, et d'une saveur urineuse et brûlante.

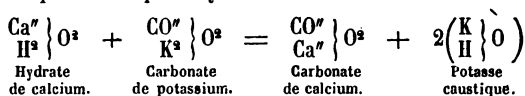
L'hydrate potassique ne se déshydrate que si on le maintient en fusion pendant très-longtemps et à une haute température; encore la majeure partie se volatilise-t-elle alors sans s'altérer. La partie déshydratée, qui est du protoxyde de potassium, absorbe immédiatement l'oxygène de l'air et se transforme en tétroxyde de ce métal.

L'hydrate de potassium est extrêmement soluble dans l'eau. Cette solution s'accompagne d'un dégagement de chaleur considérable.

L'hydrate de potassium se produit lorsqu'on décompose l'eau par le potassium :



mais ce mode de préparation serait loin d'être économique. Dans l'industrie on obtient la potasse caustique en décomposant le carbonate de potassium par l'hydrate de calcium :



A cet effet, on verse un lait de chaux dans une solution étendue et bouillante de carbonate de potassium. Lorsque la quantité de chaux ajoutée est suffisante pour que la double décomposition soit complète (ce que l'on reconnaît en s'assurant qu'une faible quantité de liqueur filtrée ne fait plus effervescence avec les acides), on laisse reposer le tout : le carbonate de calcium se dépose au fond du vase, et l'on n'a plus qu'à décantier la liqueur et à l'évaporer. L'évaporation doit être faite dans une bassine d'argent. A la fin, quand toute l'eau est évaporée, on fond la masse solide et on la coule en plaques.

La potasse ainsi obtenue porte le nom de potasse à la chaux. Comme dans l'industrie, on se sert pour la produire de carbonate de potassium et de chaux impurs, la potasse que l'on obtient renferme de nombreuses impuretés ; pour purifier la potasse à la chaux du commerce, on la dissout dans l'alcool et on évapore ensuite la solution, après l'avoir additionnée d'eau. Les impuretés restent dissoutes dans l'eau que renfermait l'alcool et forment une couche qui n'est point miscible à l'alcool saturé de potasse, et qu'on peut séparer facilement.

Le produit ainsi purifié se nomme potasse à l'alcool.

A l'aide de l'hydrate de potassium, on peut donner naissance à un grand nombre de sels oxygénés. Ceux que nous passerons en revue sont : les carbonates, l'azotate, le chlorate, l'hypochlorite et les sulfates potassiques.

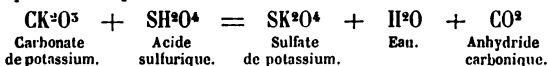
**Carbonate neutre de potassium**  $\left. \begin{array}{c} \text{CO}'' \\ \text{K}^2 \end{array} \right\} \text{O}^2$ . Ce sel s'extrait, par lessivage, des cendres des végétaux qui croissent dans l'intérieur des terres. L'industrie du sucre de betterave en fournit de grandes quantités, qu'on obtient en évaporant les résidus de distillation

des mélasses fermentées, qu'on nomme vinasses, et en calcinant la masse solide.

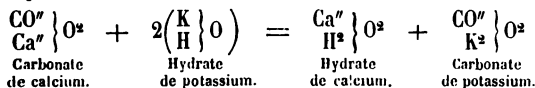
Enfin on le prépare artificiellement, en partant du chlorure de potassium de Stassfurth, par le même procédé qui sert à l'obtention du carbonate de sodium.

Dans les laboratoires, pour avoir le carbonate de potassium pur, on calcine le bitartrate de potassium, sel qui s'obtient facilement pur par cristallisation. Ce sel, qui est de nature organique, se décompose et laisse un résidu de carbonate de potassium et de charbon (flux noir), le même dont on se sert pour préparer le potassium. Le flux noir traité par l'eau lui abandonne le carbonate potassique qu'il renferme; on filtre pour séparer le charbon et l'on évapore à siccité. On peut aussi substituer au bitartrate de potassium le bioxalate (sel d'oseille); le résidu est alors du carbonate de potassium pur sans traces de charbon.

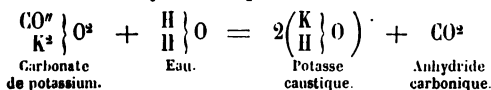
Le carbonate de potassium est un sel blanc très-soluble dans l'eau et même déliquescent. Il présente toujours avec les papiers réactifs une réaction alcaline. Tous les acides le décomposent avec effervescence: de l'anhydride carbonique se dégage, et un nouveau sel de potassium prend naissance.



Nous avons vu que lorsqu'on fait bouillir une solution étendue de ce sel avec de l'hydrate de calcium, il fait la double décomposition et donne du carbonate de calcium et de la potasse caustique. Si la solution était concentrée, cette réaction cesserait de se produire. Dans ce cas, en effet, il peut même se passer une réaction inverse. Bouilli avec une solution très-concentrée de potasse caustique, le carbonate de calcium donne de l'hydrate de calcium et du carbonate de potassium

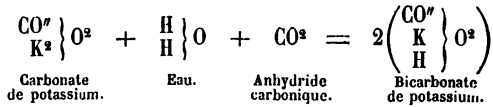


La vapeur d'eau à une haute température transforme partiellement le carbonate en hydrate de potassium.



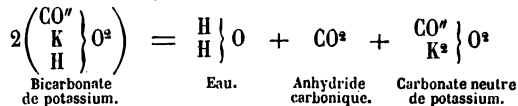
**Bicarbonat** de potassium  $\left. \begin{array}{c} \text{CO}'' \\ \text{K} \\ \text{H} \end{array} \right\} \text{O}^2$ . Ce sel se dépose en

cristaux lorsqu'on fait passer un courant d'anhydride carbonique  $\equiv$  à travers une dissolution concentrée de carbonate neutre :



le bicarbonat de potassium cristallise en prismes rhomboïdaux : 100 parties d'eau en dissolvent 23,23 parties à 10° et 26,91 à 20°.

Lorsqu'on le fait bouillir, il perd de l'eau et de l'anhydride carbonique en se convertissant en carbonate neutre :



Quand il est pur, il ne précipite pas les sels magnésiens.

Ce corps est employé en médecine.

**Azotate de potassium**  $\left. \begin{array}{c} \text{AzO}^2 \\ \text{K} \end{array} \right\} \text{O}$ . L'azotate de potassium est un corps d'une grande importance parce qu'il sert à la préparation de la poudre ; il est, en outre, employé en médecine ; et dans les laboratoires de chimie on s'en sert très-souvent.

Ce sel se trouve en nature à la surface du sol ; en Amérique, au Pérou, il existe un mélange naturel d'azotate de potassium et de sable, auquel les Péruviens donnent le nom de caliclie. Ce mélange donne l'azotate de potassium par un simple lessivage.

Dans les pays tempérés, la nature produit moins d'azotates, mais on active leur formation en exposant à l'influence de l'air un mélange de matières organiques azotées et de terre calcaire humide. L'azote des matières organiques s'oxyde à l'état d'acide azotique, qui s'unissant à la chaux de la terre donne de l'azotate de calcium : le même phénomène se passe dans le sol, seulement plus lentement. Il suffit de lessiver les matériaux qui contiennent ces azotates et de précipiter la chaux par le carbonate de potassium dans le produit de ce lessivage, pour obtenir de l'azotate potassique qui cristallise ensuite par évaporation de la liqueur.

Toutefois depuis longtemps, on préfère préparer l'azotate de po-

1 décomposant l'azotate de sodium naturel qui nous  
rou, par le chlorure de potassium.

fet, on chauffe ensemble dans une grande chaudière  
1 des poids équivalents de ces deux sels; pendant l'é-  
ne double décomposition s'opère, et il se forme du  
sodium et de l'azotate de potassium.

ire de sodium n'étant guère plus soluble à chaud qu'à  
1s grande partie de ce sel se dépose pendant l'ébulli-  
le retire avec des râtaux; l'azotate de potassium au  
qui est beaucoup plus soluble à chaud qu'à froid, reste  
and il cesse de se déposer du chlorure de sodium, on  
idir la liqueur et l'azotate de potassium cristallise.

ce sel renferme encore du chlorure sodique, on le lave  
dissolution saturée d'azotate de potassium qui n'est plus  
dissoudre ce dernier corps, mais qui s'empare du chlo-  
lium.

ir l'azotate de potassium absolument pur, il faut le faire  
plusieurs fois en le dissolvant dans l'eau bouillante, et  
suite refroidir le liquide.

de potassium cristallise en longs prismes à 6 pans  
ar des pyramides hexaèdres, toujours anhydres, inso-  
l'alcool : il fond à 350°, et ne cristallise pas de nou-  
prenant l'état solide; sa saveur est fraîche d'abord,  
nte, salée et amère. C'est un corps instable qui cède  
son oxygène aux substances combustibles, aussi défla-  
squ'on le projette sur des charbons ardents; en l'asso-  
arbon et au soufre pulvérisés, on obtient des mélanges  
stibles, et comme les produits de combustion du soufre  
one sont gazeux, ces mélanges lorsqu'on les allume  
pace limitée, ont une grande puissance de projection.  
tels mélanges qui constituent la poudre de guerre.

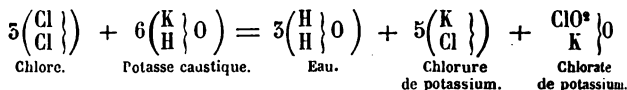
priété comburante de l'azotate de potassium est souvent  
ée dans les laboratoires.

: de potassium est insoluble dans l'alcool absolu; 100  
au en dissolvent 29 parties à 18° et 256 à 97°, la disso-  
rée de ce sel bout à 116°, et dans cette liqueur, la quan-  
té à la quantité de sel : : 1 : 3,15.

: de potassium a des propriétés diurétiques très-pro-

Dans le commerce, ce sel est connu sous le nom de salpêtre, sel de nitre, nitre et nitrate de potassium.

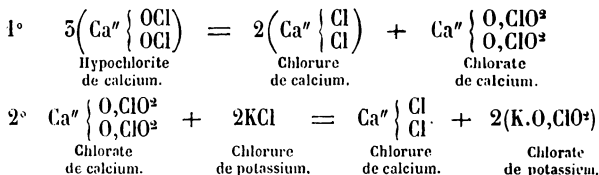
**Chlorate de potassium**  $\left. \begin{matrix} \text{ClO}_3 \\ \text{K} \end{matrix} \right\} \text{O}$ . Pour obtenir ce sel, on fait arriver un courant de chlore à travers une dissolution concentrée de potasse caustique; 3 molécules de chlore et six molécules de potasse entrent en réaction, il se forme trois molécules d'eau, cinq molécules de chlorure de potassium et une molécule de chlorate de potassium.



Le chlorate potassique, étant beaucoup moins soluble dans l'eau que le chlorure, cristallise le premier, et on le purifie complètement par des cristallisations successives.

On prépare encore ce sel en faisant arriver du chlore dans un lait de chaux, ajoutant du chlorure de potassium à la liqueur, faisant bouillir pendant quelque temps et laissant ensuite refroidir. Le chlorate de potassium se dépose alors en cristaux.

Dans cette réaction, le chlore, en agissant sur la chaux, produit d'abord de l'hypochlorite de calcium  $\text{CaO}^2\text{Cl}^2$ ; ce corps donne à l'ébullition du chlorate de calcium, lequel fait la double décomposition avec le chlorure potassique.

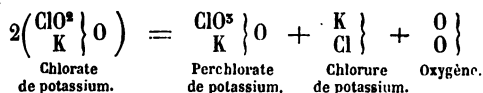


le chlorate de potassium formé se dépose par le refroidissement de la liqueur.

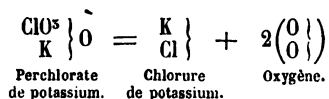
Le chlorate potassique cristallise en lames hexagonales transparentes anhydres; il est insoluble dans l'alcool, 100 parties d'eau en dissolvent 6 à 15° et 60,24 à la température de l'ébullition.

Il fond à 400° et donne à une température plus élevée, de l'oxygène, en même temps que du perchlorate et du chlorure de potassium prennent naissance.





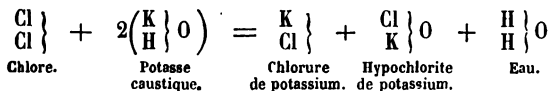
Si l'on chauffe plus fort, le perchlorate de potassium se décompose à son tour; tout l'oxygène se dégage, et il ne reste que du chlorure de potassium.



La facilité avec laquelle le chlorate potassique perd son oxygène en fait un comburant énergique; aussi fuse-t-il sur les charbons ardents, et forme-t-il avec les substances combustibles des mélanges détonants. En mélangeant du soufre et du chlorate de potassium pilés séparément, on obtient une poudre qui détone lorsqu'on la frappe fortement avec un marteau.

Un mélange de chlorate de potassium, de soufre et de lycopode (matière organique pulvérulente très-inflammable), prend feu par l'addition d'une goutte d'acide sulfurique.

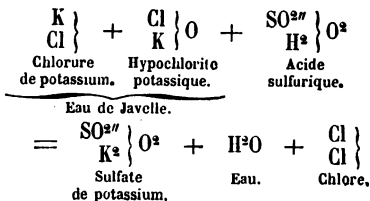
**Hypochlorite de potassium** ClKO. Lorsqu'au lieu de diriger un courant de chlore à travers une solution concentrée d'hydrate de potassium, on le dirige à travers une dissolution étendue du même corps, la réaction ne se passe plus entre trois molécules de chlore et six d'hydrate de potassium, mais entre une molécule de chlore et deux de potasse; il se forme ainsi un mélange de chlorure et d'hypochlorite potassiques :



ces deux sels ne peuvent pas être séparés l'un de l'autre.

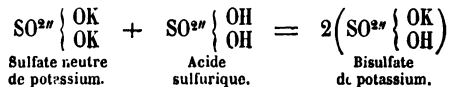
La liqueur qui tient en dissolution ce mélange d'hypochlorite et de chlorure de potassium est connue dans les arts sous le nom d'eau de javelle ou de chlorure de potasse.

Sous l'influence des acides les plus faibles, même de l'anhydride carbonique, elle dégage tout le chlore qu'elle renferme, aussi est-elle employée comme agent décolorant et comme désinfectant.



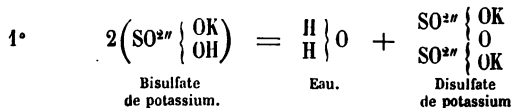
**Sulfate neutre de potassium**  $\left. \begin{array}{c} \text{SO}^{2''} \\ \text{K}^2 \end{array} \right\} \text{O}^2$ . Ce sel se retire des eaux mères du sel marin; on l'obtient aussi en traitant le chlorure de potassium naturel par l'acide sulfurique. Pour le préparer à l'état de pureté on traite le carbonate de potassium par l'acide sulfurique : le sulfate de potassium cristallise en prismes anhydres, qui ont six faces et sont terminés par des pyramides hexaèdres. Il fond sans décomposition à une haute température; 100 parties d'eau en dissolvent 10,5 à 12°,7 et 26,3 à 101°,5; il est tout à fait insoluble dans l'alcool.

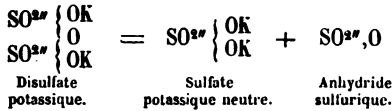
**Bisulfate de potassium**  $\left. \begin{array}{c} \text{OK} \\ \text{OH} \end{array} \right\} \text{SO}^{2''}$ . On peut préparer ce sel en chauffant le sulfate neutre avec la moitié de son poids d'acide sulfurique concentré; dès que les fumées d'acide sulfurique cessent, on laisse refroidir et on dissout le résidu dans l'eau. Ce liquide évaporé fournit des cristaux prismatiques incolores de bisulfate de potassium.



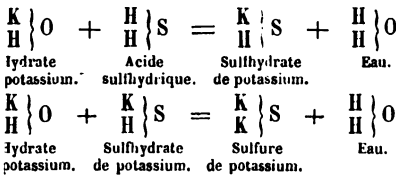
Le bisulfate de potassium ne se décomposant qu'à 600°, sert dans les analyses à attaquer certains minéraux qui échappent à l'action de l'acide sulfurique, à cause du point d'ébullition de cet acide qui est de beaucoup inférieur à 600° (325°).

Par la chaleur, le bisulfate de potassium perd de l'eau et se transforme en disulfate, lequel chauffé plus fortement abandonne de l'anhydride sulfurique, et retourne à l'état de sulfate neutre.

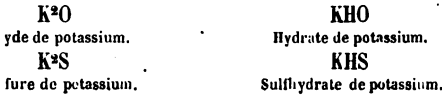




**ure de potassium K<sup>2</sup>S.** Le monosulfure de potassium en divisant en deux parties égales une solution potassique, en sursaturant la moitié par l'acide sulfajoutant ensuite l'autre moitié; il se produit d'abord e de potassium qui, au contact de l'hydrate du même de l'eau et du monosulfure.



lfure de potassium est au sulhydrate correspondant, e de potassium est à l'hydrate de potassium.



rate de potassium étant une sulfobase puissante, le de ce métal est un anhydrosulfide basique.

**es des sels potassiques.** Ces sels se reconnaissent s suivants :

onates alcalins ne les précipitent pas.

ient, en présence d'un excès d'acide tartrique, un u soluble dans l'eau froide, qui se précipite lorsqu'on ur.

hydrofluosilicique et l'acide perchlorique les précipi- cilité fourni par l'acide hydrofluosilicique est gélati- parent de telle sorte qu'au début il est assez difficile

chlorure de platine y détermine la formation d'un pré- de chlorure double de platine et de potassium. Si les it fort étendues, il faut y ajouter un peu d'alcool précipité se forme. Ce chlorure double se décompose,

lorsqu'on le chauffe, en chlorure de potassium et platine métallique spongieux.

5° Le sulfate de potassium est anhydre et inaltérable à l'air, et le carbonate de potassium est déliquescent.

**S O D I U M**  $\left. \begin{array}{l} \text{Na} \\ \text{Na} \end{array} \right\}$

Poids atomique = 23    Poids moléculaire probable = 46

Le sodium est si semblable au potassium, que faire l'histoire de l'un de ces métaux c'est presque faire l'histoire de l'autre. Les affinités sont de même nature, sauf que celles du sodium sont un peu plus faibles. Le sodium, comme le potassium, décompose l'eau à la température ordinaire; seulement, l'élévation de température étant moindre, l'hydrogène ne s'enflamme que si l'on rend l'eau gommeuse, afin que le métal, ne pouvant plus se mouvoir si facilement à sa surface, ne perde pas aussi vite sa chaleur.

Les propriétés physiques sont aussi très-voisines, le sodium fond à 90° et se volatilise au rouge; il a une densité égale à 0,972, et présente très-peu de dureté à la température ordinaire.

La préparation est la même, à cette différence près que le mélange de carbonate de sodium et de charbon ne demande pas à être aussi intime que celui de carbonate de potassium et de charbon qui sert à la préparation du potassium. On peut le préparer directement en mêlant les deux corps primitivement pulvérisés.

Le sodium s'unit aux métalloïdes monatomiques et donne naissance à une seule série de composés répondant à la formule NaR. Il se combine aussi avec les métalloïdes diatomiques; avec le soufre, il donne les mêmes composés que le potassium; avec l'oxygène il donne comme ce dernier métal un protoxyde  $\text{Na}^{\text{I}}\text{O}$  et un bioxyde  $\text{Na}^{\text{II}}\text{O}_2$ ; le tétroxyde  $\text{Na}^{\text{IV}}\text{O}_4$  qui correspondrait au tétroxyde de potassium n'a pu être obtenu.

Au protoxyde de sodium comme au protoxyde de potassium correspondent un hydrate basique et des sels nombreux.

De tous les composés sodiques, les seuls qui méritent de fixer notre attention sont : le chlorure, l'hydrate, le sulfate neutre et le sulfate acide, le carbonate neutre, le bicarbonate et le sesquicarbonate, l'azotate, le borate et l'hypochlorite.

**Chlorure de sodium** NaCl. On pourrait préparer artificielle-

is en saturant l'hydrate ou le carbonate de sodium par hydrique, ou encore en soumettant le sodium à l'acide chlorhydrique ou du chlore. Mais jamais on ne fait tion, le chlorure de sodium existe en effet dans la nature en grande abondance, et loin d'être un produit artificiel, il est première à l'aide de laquelle on obtient tous les sels de sodium.

Le chlorure de sodium cristallise en cubes qui se groupent en masses creusées à l'intérieur (trémies). Ses cristaux ne se dissolvent pas d'eau de cristallisation ; exposés à la chaleur, ils se dissolvent puis fondent et se réduisent même en vapeurs si la température est assez élevée.

La solubilité du chlorure de sodium est égale à 2,15, sa saveur est salée. La dissolution de ce corps exige pour se dissoudre 2,79 d'eau à la température de l'ébullition. Sa solubilité n'est donc pas la même à chaud qu'à froid.

La dissolution concentrée de chlorure de sodium laisse des cristaux prismatiques qui renferment deux molécules d'eau pour formule  $\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O}$ .

Le chlorure de sodium pur n'est pas déliquescent à moins que la température ne marque plus de 86° ; la présence du chlorure de sodium donne la propriété d'attirer l'humidité de l'air bien au-dessus de ce degré hygrométrique.

Le chlorure de sodium est employé dans l'alimentation sous le nom de sel marin ou sel de cuisine.

**DU CHLORURE DE SODIUM.** Le chlorure de sodium existe dans la mer et dans certaines sources salées ; il forme, en l'intérieur de la terre des dépôts considérables connus sous le nom de mines de sel gemme.

Les mines de sel gemme les plus importantes sont celles de Wieliczka en Pologne, et de Cardona, en Espagne, mais il existe aussi d'autres mines importantes de ce corps dans l'intérieur de la France, dans la république de la Nouvelle-Grenade ; en France, à Salins (Jura), à Dax, etc. ; à Stassfurth (Allemagne), dans le Salzbourg (Autriche), etc.

Le sel gemme est pur, on le retire en faisant des puits et comme cela s'exécute pour tous les autres minerais ; on nettoie alors le sel de le pulvériser avant de le livrer au com-

Lorsqu'il est impur, on le dissout dans l'intérieur même de la mine à l'aide d'eau douce qu'on y amène, et on le purifie par cristallisation.

Quels que soient les procédés à l'aide desquels on amène l'eau douce dans la mine et on en retire l'eau salée, il faut concentrer cette dernière pour que le sel puisse cristalliser; cette concentration se fait dans des chaudières disposées de manière à perdre le moins de chaleur possible.

Pendant la concentration, le sel gemme se dépose en petits etaux : pour l'avoir plus pur, on trouble la cristallisation en agitant le liquide avec un râteau qui sert en même temps à retirer le sel déjà déposé. Après quelque temps, les chaudières se recourent d'une couche de sulfate double de sodium et de calcium. On est obligé à suspendre le travail pour nettoyer les chaudières, qu'il entrave le passage de la chaleur, dès qu'il forme une couche un peu épaisse.

Les eaux mères d'où le sel s'est déposé contiennent des chlorures de calcium et de magnésium.

Lorsqu'on veut extraire le sel des sources salées, il faut concentrer l'eau qui, sans cela, serait trop pauvre et exige le secours de la vapeur. On opère cette concentration à l'aide de machines à vapeur.

Ces machines sont des cylindres horizontaux retenus par des supports et traversés par des hangars. La section circulaire de ces cylindres est de trois mètres environ de large en haut et de deux mètres de hauteur. Ils reçoivent l'eau salée par des tuyaux. Leur direction est telle qu'ils se remplissent d'eau. Leur mouvement est tel qu'ils se remplissent d'eau.

Les cylindres sont disposés de manière à ce que l'eau qui s'écoule de l'un d'eux se verse dans le bassin inférieur de l'autre. Les cylindres se remplissent par des ouvertures situées à l'extrémité inférieure de leur section circulaire. Les cylindres sont disposés de manière à ce que l'eau qui s'écoule de l'un d'eux se verse dans le bassin inférieur de l'autre.

Cette concentration se fait à peu près comme celle que nous avons décrite à l'occasion du sel gemme. Toutefois, comme ici les eaux sont moins pures, on divise le travail en deux opérations, le schlotage et le salinage.

On commence par soumettre le liquide à une forte ébullition qui détermine la séparation d'un sulfate double de sodium et de

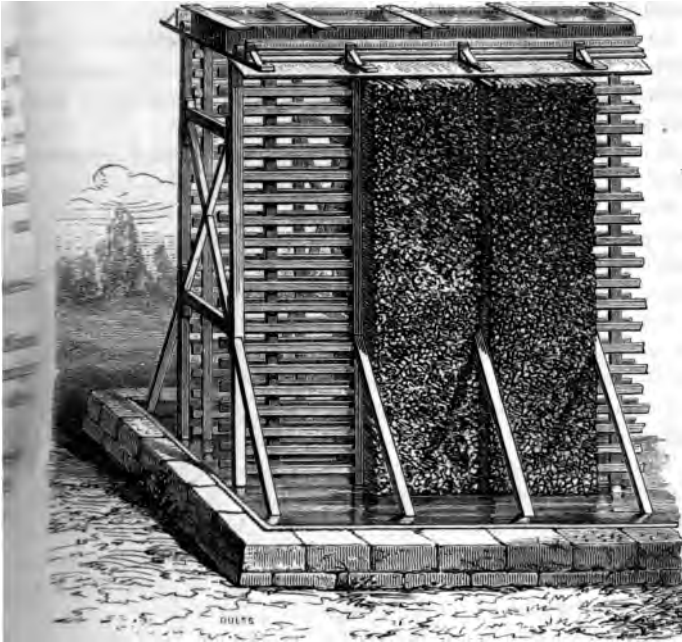


Fig. 35.

**calcium** (schlot) qu'on enlève. A mesure que la concentration avance, le chlorure de sodium cristallise et les eaux mères deviennent de plus en plus riches en sels étrangers (surtout sels magnésiens); il arrive un moment où elles en sont si chargées que le sel qui se dépose est impur; on met alors à part ces eaux mères, dont on se sert pour préparer du chlorure de potassium, et on recommence l'opération.

Toutefois, on peut améliorer beaucoup ce procédé en ajoutant au

début de l'opération une certaine quantité de chaux aux liqueurs. Le calcium prend la place du magnésium, très-abondant dans ces eaux à l'état de chlorure et de sulfate, et de l'hydrate magnésique se précipite. Quant au calcium, il passe à l'état de chlorure et de sulfate; vu l'insolubilité du sulfate calcique, et la présence dans ces eaux du sulfate de sodium, le chlorure de calcium donne lieu à une double décomposition, dont les produits sont du chlorure de sodium et du sulfate de calcium.

Le sulfate de calcium forme un sulfate double de calcium et de sodium (schlot), qui se dépose pendant le schlotage, et lorsque le salinage est commencé, les liqueurs se trouvent débarrassées des sels magnésiens qui entravaient l'opération.

Si l'on pratique bien ce procédé, qui est dû à M. Berthier, on peut rendre presque nulle la formation des eaux mères.

Enfin, le chlorure de sodium s'extrait aussi de l'eau de mer. Les procédés employés dans les salines sur les côtes de l'Océan diffèrent un peu de ceux en usage dans les salines de la Méditerranée.

Dans l'Ouest, on profite de la haute marée pour amener l'eau dans un grand bassin de 800 à 1000 mètres carrés de surface et de 60 centimètres à 2 mètres de profondeur. On laisse séjourner l'eau dans ce bassin assez longtemps pour qu'elle s'échauffe, et pour qu'elle dépose les impuretés qu'elle tient en suspension.

L'eau est ensuite amenée par un canal souterrain dans une série de bassins qui présentent une profondeur de 25 à 45 centimètres, et dont la superficie est à peu près de 400 mètres carrés. Ces bassins communiquent entre eux par de petites ouvertures alternes, et comme, en outre, l'inclinaison en est très-faible, l'eau ne les parcourt qu'avec une extrême lenteur.

Après avoir quitté ce premier système de bassins, l'eau se rend, par le moyen d'une rigole de 160 mètres, dans une seconde série de 8 bassins seulement, dont la superficie totale est un peu moins étendue que celle de la série précédente.

Après avoir parcouru cette seconde série, l'eau passe dans une troisième série formée de 4 bassins, dont la superficie est aussi étendue que celle des 8 bassins réunis de la série qui précède. Ici l'eau est déjà suffisamment concentrée, de petites rigoles latérales lui permettent de se déverser dans des aires placées à droite et à gauche où le sel se dépose.





Cette opération s'exécute dans l'industrie sur une vaste échelle, le sulfate de sodium étant un produit intermédiaire dans la fabrication du carbonate de sodium artificiel. Elle a lieu dans des fours à réverbère, qui sont en communication avec des appareils à condensation pour l'acide chlorhydrique.

Le sulfate de sodium est insoluble dans l'alcool ; 100 parties d'eau en dissolvent 50,65 à 32°,7 et n'en dissolvent plus que 42,65 à 103°. La solubilité de ce sel croît donc de 0° à 33° et décroît à partir de 33° à mesure que la température s'élève, nous avons vu dans les généralités (voir Solubilité) comment peut s'expliquer ce fait curieux.

Le sulfate de sodium est un des corps avec lesquels il est le plus facile d'obtenir des dissolutions sursaturées.

Ce sel se dépose de sa solution aqueuse en gros cristaux prismatiques à quatre pans terminés par des sommets dièdres. Ces cristaux renferment dix molécules d'eau de cristallisation, leur formule est :  $\text{SO}^{2''} \begin{cases} \text{ONa} \\ \text{ONa} \end{cases} + 10\text{H}^2\text{O}$ .

On peut aussi l'obtenir cristallisé avec des quantités d'eau différentes, en faisant varier la température à laquelle il se dépose de sa solution.

Le sulfate de sodium s'effleurit à l'air en se déshydratant ; lorsqu'on le chauffe, il subit d'abord la fusion aqueuse ; puis son eau de cristallisation s'évaporant, le sel redevient solide. A une température beaucoup plus élevée, il éprouve la fusion ignée.

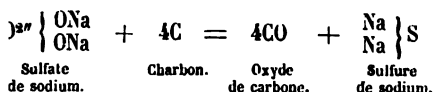
Le sulfate de sodium est employé en médecine comme purgatif ; dans l'industrie il sert à la préparation du carbonate de sodium artificiel.

**Bisulfate de sodium**  $\text{SO}^{2''} \begin{cases} \text{ONa} \\ \text{OH} \end{cases} + 2\text{H}^2\text{O}$ . Ce sel se prépare à l'aide du sulfate neutre de sodium, comme le bisulfate de potassium au moyen du sulfate neutre du même métal. Ses propriétés sont les mêmes que celles du bisulfate de potassium.

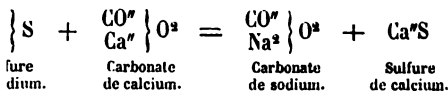
**Carbonate neutre de sodium**  $\text{CO}'' \begin{cases} \text{ONa} \\ \text{ONa} \end{cases}$ . Le carbonate de sodium, point de départ d'un grand nombre de composés sodiques, se retirait jadis des cendres des végétaux qui vivent sur les bords de la mer. On le prépare aujourd'hui à l'aide du sulfate, obtenu lui-même, comme nous venons de le voir, au moyen du chlorure

our transformer le sulfate en carbonate de sodium, on emier de ces sels dans des fours à réverbère elliptivoir intimement mélangé avec du carbonate de carbon.

d'abord du sulfure de sodium par la réaction du le sulfate de sodium.



de sodium réagit ensuite sur le carbonate de calcium, mélange de carbonate de sodium et de sulfure de soluble dans l'eau.



l par l'eau pour dissoudre le carbonate de sodium et sulfure calcique; on évapore et l'on fait cristalliser

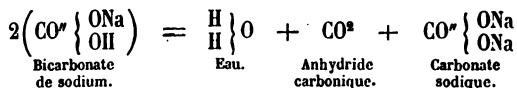
ces réactions principales, des réactions secondaires ont en même temps. Une partie du carbonate de calompose en chaux caustique et acide carbonique, que convertit en oxyde de carbone. Lorsqu'on reprend par lissoudre le carbonate sodique formé, la chaux s'hy-sur le carbonate, et produit du carbonate calcique et caustique.

é que nous venons de décrire est connu sous le nom eblanc.

ate de sodium qu'il fournit n'est pas pur; pour le pu- fait une solution concentrée que l'on soumet à l'ac- curant de gaz carbonique. Les impuretés restent dissou- jeure partie du sel alcalin se dépose à l'état de bicar- pur, répondant à la formule  $\text{CO}^{\#} \left\{ \begin{array}{l} \text{ONa} \\ \text{OH} \end{array} \right.$  qui se produit tion analogue à celle que nous avons exposée à l'occa- rbonate de potassium.

onate de sodium légèrement chauffé perd de l'anhydride

carbonique et de l'eau, et laisse un résidu de carbonate neutre très-pur, comme le montre l'équation :

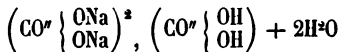


Le carbonate de sodium est insoluble dans l'alcool ; l'eau le dissout : 100 parties de ce liquide en dissolvent 12,1 à 10°, 51,7 à 38° et 45,5 à 104°. La solubilité de ce sel comme celle du sulfate de sodium, augmente donc d'abord pour décroître ensuite à mesure que la température s'élève (\*).

Le carbonate de sodium cristallisé à la température ordinaire renferme 10 molécules d'eau de cristallisation ; sa formule est  $\text{CO}^{\circ} \left\{ \begin{array}{l} \text{ONa} \\ \text{ONa} \end{array} \right. + 10 \text{H}^{\circ}\text{O}$ . Il est efflorescent et peut subir, lorsqu'on le chauffe, la fusion aqueuse d'abord, la fusion ignée ensuite.

**Bicarbonate de sodium**  $\text{CO}^{\circ} \left\{ \begin{array}{l} \text{ONa} \\ \text{OH} \end{array} \right.$ . Nous venons de voir comment ce sel se prépare ; il existe en nature dans les eaux de Vichy ; la médecine en fait usage.

**Sesquicarbonate de sodium.** Certains lacs de Hongrie et d'Amérique renferment un carbonate de sodium connu sous le nom de *natron* ou de sel de *trona* et qui a pour formule



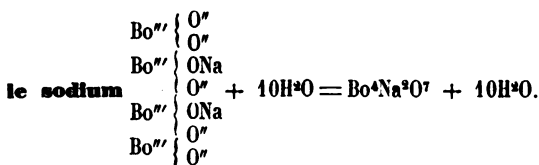
**Hydrate de sodium**  $\left. \begin{array}{c} \text{Na} \\ \text{H} \end{array} \right\} \text{O}$ . L'hydrate de sodium se prépare à l'aide du carbonate de sodium, comme l'hydrate de potassium, au moyen du carbonate de potassium. C'est une base puissante qui a les mêmes propriétés et les mêmes usages que l'hydrate de potassium. On distingue l'hydrate de sodium (soude caustique) brut ou à la chaux, et l'hydrate de sodium à l'alcool.

**Azotate de sodium**  $\left. \begin{array}{c} \text{AzO}^{\circ} \\ \text{Na} \end{array} \right\} \text{O}$ . L'azotate de sodium (nitre cubique) forme des gisements considérables au Pérou. Il cristallise en prismes rhomboédriques transparents ; sa saveur est fraîche et piquante, il est un peu déliquescent, ce qui empêche d'en faire de la poudre ; 100 parties d'eau en dissolvent 23 p. à +10° et 218,5

(\*) Ces nombres s'appliquent au carbonate supposé anhydre.

est soluble dans l'alcool. Ses propriétés se confondent le l'azotate de potassium.

loyé à la fabrication du salpêtre et à la fabrication de que.



le borax que l'on consommait en Europe provenait en l'évaporation de l'eau de certains lacs de l'Asie. On le sous le nom de tinkal ; il correspondait à la formule ci-présentait sous la forme de prismes.

irs, on prépare artificiellement le borax ; le borax ar-enferme que 5 molécules d'eau de cristallisation et n octaèdres.

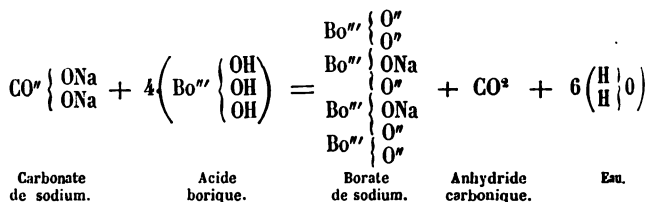
ondu dissout les oxydes métalliques, et sa viscosité lui d'agir comme un vernis, il préserve de l'oxydation les avec lesquelles on le chauffe à une température élevée. Ma que le borax maintient la surface des métaux bien qu'il rend si facile la brasure du fer avec le cuivre, et certains alliages.

est également utilisé comme fondant dans les essais au en dissolvant les oxydes métalliques, il prend, en effet, leurs caractéristiques. Il faut dire, toutefois, que sa issoudre les oxydes ne suffirait pas pour qu'on l'em-usage. Il possède une autre propriété qui est abso-essaire pour qu'un corps puisse servir de fondant au il subit la fusion visqueuse.

naturel ou tinkal peut être obtenu pur par plusieurs ns ; quant au borax artificiel, voici comment on le

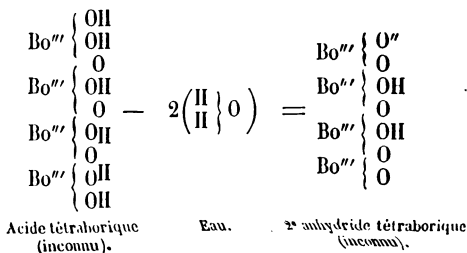
cuve de bois doublée de plomb et chauffée à la va-ait dissoudre 1200 kilogrammes de carbonate de so-llisé dans une quantité d'eau qui, ajoutée à celle pro-a condensation de la vapeur, ait à peu près un poids grammes.

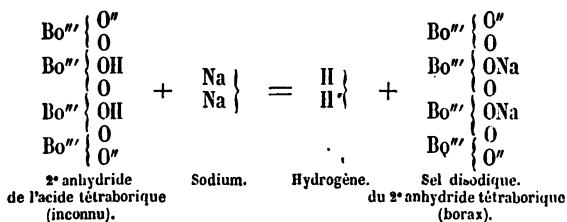
Quand la dissolution est faite, on y ajoute par petites portions 1000 kilogrammes d'acide borique de Toscane. Une vive effervescence a lieu, de l'anhydride carbonique se dégage, et du borate de sodium prend naissance.



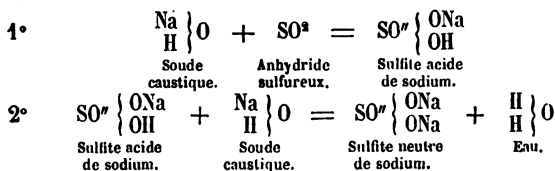
Quand la liqueur marque 21° à l'aréomètre Baumé, on considère la saturation comme achevée; on laisse alors déposer le tout pendant 24 heures, puis, à l'aide d'un robinet inférieur, on fait arriver le liquide clair dans des cuves de plomb peu profondes où la cristallisation ne tarde pas à se produire : les cristaux sont d'autant plus volumineux que la cristallisation est moins rapide. Ils ont la forme de prismes, et renferment 10 molécules d'eau de cristallisation; cette énorme quantité d'eau que contiennent les cristaux de borax prismatique en rendent le transport assez cher: aussi préfère-t-on le borax octaédrique, qui renferme la moitié moins d'eau. Pour obtenir le borax sous forme d'octaèdres, il suffit de faire une solution de ce sel marquant 30° ou 52° à l'aréomètre Baumé, et d'abandonner ce liquide à la cristallisation à une température de 56° à 79°.

Le borax a reçu improprement en chimie le nom de borate sodique; c'est en effet non pas un borate simple, mais le sel disodique du deuxième anhydride d'un acide tétraborique.





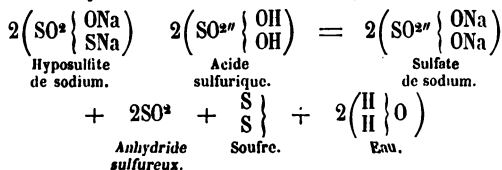
**Hyposulfite de sodium**  $\text{SO}^2 \left\{ \begin{array}{l} \text{ONa} \\ \text{SNa} \end{array} \right.$ . Nous avons vu, en nous occupant des acides du soufre, que ce sel s'obtient en faisant bouillir du sulfite neutre de sodium avec du soufre, filtrant et faisant cristalliser. Quant au sulfite neutre qui sert à cet usage, on peut le préparer en divisant en deux une solution de soude caustique, sursaturant une partie par un courant de gaz anhydride sulfureux, et ajoutant ensuite l'autre partie.



L'hyposulfite de sodium cristallise en cristaux volumineux, il est amer, se dissout fort bien dans l'eau, et est insoluble dans l'alcool. Ses cristaux renferment de l'eau de cristallisation; sous l'influence de la chaleur, il subit d'abord la fusion aqueuse, puis devient anhydre, et se convertit finalement en un mélange de sulfate et de pentasulfure de sodium.



Traité par un acide, l'hyposulfite de sodium donne lieu à un dégagement d'anhydride sulfureux et à un dépôt de soufre :



La solution de l'hyposulfite de sodium dissout les chlorure, brome et iodure d'argent, propriété qui l'a fait employer en photographie; ce sel sert aussi à la conservation de préparations anatomiques.

C'est un puissant réducteur.

**Hypochlorite de sodium.**  $\text{ClNaO}$ . Ce sel n'est pas connu à l'état de pureté, mais on prépare un mélange de chlorure de sodium et d'hypochlorite de sodium par un procédé identique à celui dont on se sert pour obtenir l'eau de Javelle. Ce mélange, appelé chlorure de soude ou liqueur de Labarague, a les mêmes propriétés et les mêmes usages que l'eau de Javelle. C'est un décolorant et un désinfectant.

**Caractères des sels sodiques.** Les sels sodiques se reconnaissent aux caractères suivants :

1° Leurs solutions ne sont pas précipitées par les carbonates alcalins, ce qui les rapproche des sels de potassium;

2° Leur sulfate cristallise avec de l'eau de cristallisation et est efflorescent; il en est de même du carbonate;

3° Le tétrachlorure de platine ne précipite pas les sels de sodium, même en présence de l'alcool étheré;

4° Les sels de sodium ne sont jamais précipités par les acides tartrique, perchlorique et hydrofluosilicique;

5° Ils donnent un précipité blanc cristallin, avec le bismétanioniate de potassium. Ce réactif doit être bien exempt d'alcali libre, sans quoi le précipité ne se forme qu'après un temps assez long;

6° L'acide periodique donne, aussi, avec les solutions concentrées des sels de sodium, un précipité de periodate de sodium.

### LITHIUM, RUBIDIUM, CÉSIIUM.

Ces trois métaux ont par eux-mêmes trop peu d'importance pour que leur étude puisse trouver place dans un ouvrage comme celui-ci. Nous dirons seulement quelques mots de la méthode analytique qui a permis à MM. Bunsen et Kirchhoff de soupçonner l'existence des deux derniers et qui les a guidés dans les opérations auxquelles ils ont eu recours pour les isoler. Cette méthode a reçu le nom de spectroscopie.



On sait que lorsqu'on décompose par un prisme un faisceau de lumière blanche, on obtient les diverses couleurs de l'arc-en-ciel. On donne à l'ensemble de ces couleurs qui passent graduellement les unes dans les autres, le nom de spectre continu.

Lorsqu'on place dans la flamme non éclairante d'un bec Bunsen un composé métallique volatil, un chlorure, je suppose, la flamme prend une coloration particulière, et donne un spectre discontinu, formé de raies parfaitement distinctes et diversement colorées. La couleur et la disposition des raies produites par un métal étant toujours les mêmes et tout à fait caractéristiques pour ce métal, on peut, à l'examen du spectre que fournit une matière donnée, connaître les métaux qu'elle contient.

Or MM. Bunsen et Kirchhoff ayant trouvé dans le spectre fourni par le résidu de l'évaporation de certaines eaux minérales, des raies qui n'appartenaient à aucun des métaux connus, soupçonnèrent l'existence d'un ou deux nouveaux métaux, et ils purent isoler le césium et le rubidium.

Dans les expériences qui eurent pour but la séparation de ces corps, la spectroscopie leur servit encore de guide. Lorsqu'ils soumettaient leur matière à des réactions qui divisaient en divers groupes les substances contenues, le spectroscope indiquait dans lequel de ces divers groupes se trouvait le corps cherché.

Le rubidium et le césium ont des propriétés très-voisines de celles du potassium, mais sont encore plus électro-positifs que lui.

**ARGENT**  $\left. \begin{array}{l} \text{Ag} \\ \text{Ag} \end{array} \right\}$

Poids atomique = 108    Poids moléculaire = 216

L'argent existe dans la nature à l'état natif, mais en trop faible quantité pour pouvoir suffire au besoin de la consommation. C'est de son sulfure que l'on extrait le plus ordinairement ce métal.

Les opérations métallurgiques que cette extraction nécessite, sont trop compliquées pour que nous puissions en parler avec détails. Le sulfure d'argent est transformé en chlorure double d'argent et de sodium sur lequel on fait agir le mercure. Le mercure passe alors à l'état de chlorure et met en liberté l'argent, avec lequel il forme un amalgame; de cet amalgame, on retire l'argent par volatilisation. *D'autres fois, on précipite l'argent de son chlorure*

par le fer et l'on agite ensuite la masse avec du mercure, pour produire l'amalgame.

Dans le premier de ces procédés qui n'est autre que la méthode américaine, l'amalgame et la réduction marchent de front et toute l'opération se fait à froid; dans le second, qui est pratiqué à Freyberg en Allemagne, l'amalgame et la réduction sont deux opérations séparées et la chloruration se fait à chaud.

L'argent paraît blanc, bien qu'il prenne une couleur jaune lorsqu'on fait réfléchir plusieurs fois un même rayon de lumière à sa surface. Son éclat est remarquable. Il occupe le second rang parmi les métaux pour la malléabilité, l'or occupant le premier; il est également très-ductile et assez tenace.

L'argent entre en fusion à environ 1000° centigrades. Lorsque après l'avoir fondu, on le laisse refroidir lentement, il cristallise en octaèdres volumineux. On peut le distiller à l'aide du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène; ses vapeurs sont d'une couleur verte.

La densité de l'argent est de 10,47.

L'argent fondu dissout de l'oxygène qui se dégage dès que sa température s'abaisse. C'est là une simple dissolution de l'oxygène dans l'argent liquide et nullement une combinaison; il suffit que l'argent soit allié à un peu d'or ou de cuivre pour qu'il perde la propriété dont nous parlons.

L'argent est naturellement mou, il acquiert une dureté plus grande lorsqu'on l'allie au cuivre. C'est ce qui fait que dans les arts on le combine à de faibles quantités de ce dernier métal pour pouvoir le travailler plus commodément. Les proportions de cuivre qui peuvent être ajoutées à l'argent sont fixées par la loi.

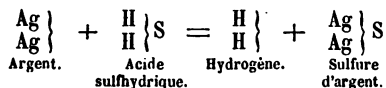
Ainsi, les pièces de 50 centimes, d'un et de deux francs sont au titre de 850/1000; les pièces de 5 francs au titre de 900/1000 c'est-à-dire renferment 900 parties d'argent pur sur 1000. La loi admet une tolérance de 3/1000 au-dessus et de 3/1000 au-dessous.

Les médailles sont au titre de 950/1000 avec les mêmes tolérances que pour les monnaies.

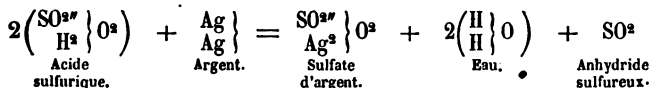
Pour les ouvrages d'orfèvrerie, il y a deux titres légaux: le titre de 950/1000, et le titre de 800/1000; pour chacun la loi admet une tolérance de 5/1000 au-dessous, et ne fixe pas de limite au-dessus.

L'argent ne s'oxyde à l'air, ni à chaud, ni à froid, mais il s'oxyde en présence de l'oxygène ozonisé.

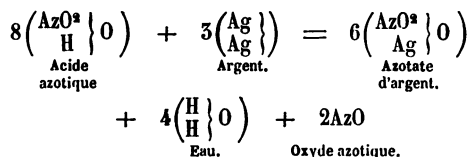
L'acide sulphydrique noircit l'argent; il se produit dans ce cas du sulfure d'argent et de l'hydrogène.



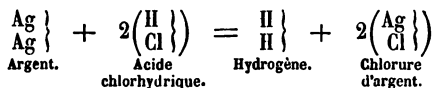
L'acide sulfurique n'attaque l'argent que s'il est concentré et bouillant; il se produit de l'anhydride sulfureux et du sulfate d'argent :



L'acide azotique attaque l'argent à froid et surtout à chaud avec production d'azotate d'argent, d'oxyde azotique et d'une certaine proportion d'anhydride azoteux :



Au rouge l'argent décompose l'acide chlorhydrique en formant du chlorure d'argent et mettant de l'hydrogène en liberté :



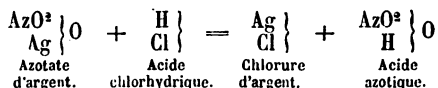
Le contact prolongé de l'argent avec une dissolution de chlorure de sodium donne lieu à la formation d'une certaine quantité de chlorure double d'argent et de sodium qui se dissout, et la liqueur devient alcaline.

COMBINAISONS DE L'ARGENT AVEC LES MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES.

L'argent forme avec chacun de ces corps un seul composé. On connaît le chlorure, le bromure, l'iodure et le fluorure d'argent.

**Chlorure d'argent**  $\left. \begin{array}{c} \text{Ag} \\ \text{Cl} \end{array} \right\}$ . Le chlorure d'argent existe dans la nature cristallisé en octaèdres; comme il est insoluble, on peut

l'obtenir facilement en précipitant la dissolution d'un sel d'argent par de l'acide chlorhydrique, ou par un chlorure soluble.



Le chlorure d'argent forme alors une masse blanche caillonnée.

Le chlorure d'argent est absolument insoluble dans l'eau pure. A 10°, l'eau salée en dissout les  $\frac{17}{10000}$  du poids du sel qu'elle renferme, à 18°  $\frac{24}{10000}$ , à 100°  $\frac{40}{10000}$ , à 0° presque pas.

Le chlorure d'argent se dissout très-bien dans l'hyposulfite de sodium, le cyanure de potassium et l'ammoniaque; l'acide chlorhydrique le dissout aussi, mais en très-faible quantité.

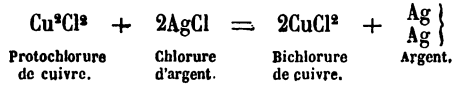
Par évaporation de sa solution ammoniacale ou chlorhydrique, le chlorure d'argent cristallise en octaèdres identiques aux cristaux naturels.

Les rayons chimiques du spectre agissent fortement sur le chlorure d'argent; aux rayons directs du soleil, ce sel devient immédiatement violet, à la lumière diffuse, la coloration est plus lente à se manifester; dans la lumière rouge ou dans la lumière jaune qui ne renferment pas de rayons chimiques, le chlorure d'argent se conserve blanc comme dans l'obscurité.

A 260° le chlorure d'argent fond; par le refroidissement il prend l'aspect de la corne, et présente assez peu de dureté pour qu'on puisse le couper avec un couteau; son aspect lui avait fait donner le nom d'*argent corné*. A une très-haute température, il donne des vapeurs.

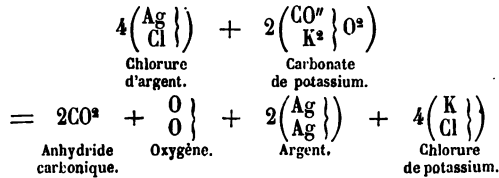
L'hydrogène naissant réduit le chlorure d'argent à froid, et l'hydrogène libre le réduit à chaud; dans ce dernier cas, toutefois, des traces de chlorure échappent toujours à l'action réductrice, ainsi que M. Lieben s'en est assuré; ce qui fait que tous les procédés analytiques fondés sur cette réduction sont incorrects.

Lorsqu'il n'est pas fondu, il est réduit par le fer et par le zinc. Si on fait un petit tas de chlorure d'argent humide, et qu'on mette au centre une barre de fer, la réduction marche petit à petit du centre à la périphérie, et finit par atteindre cette dernière. Le mercure réduit aussi le chlorure d'argent et le protochlorure de cuivre jouit également de cette propriété.



Lorsqu'on fait bouillir du chlorure d'argent avec une dissolution concentrée de potasse, il se forme de l'oxyde d'argent; si l'on ajoute du sucre à la solution une réduction a lieu et l'on obtient de l'argent extrêmement pur.

Chauffé au rouge blanc avec du carbonate de potassium et du sel marin, le chlorure d'argent se réduit et donne un culot d'argent métallique. Le sel marin sert de fondant.



Les sulfures métalliques, surtout ceux des métaux électro-positifs, font la double décomposition avec le chlorure d'argent.

**Bromure d'argent**  $\left. \begin{array}{c} \text{Ag} \\ \text{Br} \end{array} \right\}$ . Le bromure d'argent se rencontre à l'état naturel, et peut être obtenu par les mêmes procédés que le chlorure dont il partage presque toutes les propriétés; il se distingue du chlorure par une moindre solubilité dans l'ammoniaque, et par l'action que la lumière exerce sur lui; préparé à l'abri des rayons lumineux chimiques, il est blanc, mais l'expose-t-on à la lumière diffuse du jour, il devient instantanément jaunâtre et conserve cette teinte sans altération, quelle que soit l'intensité de la lumière à laquelle on l'expose ensuite.

On peut l'obtenir cristallisé sous la forme d'un solide à 24 faces dérivé de l'octaèdre, mais seulement par l'action de l'acide bromhydrique sur l'argent divisé; il ne cristallise pas par l'évaporation spontanée de sa solution dans l'ammoniaque.

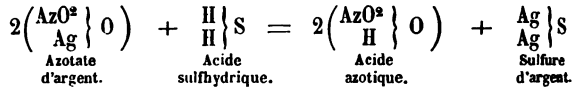
**Iodure d'argent**  $\left. \begin{array}{c} \text{Ag} \\ \text{I} \end{array} \right\}$ . L'iodure d'argent se prépare comme le chlorure et le bromure, et existe comme eux à l'état naturel; il est à peine soluble dans l'ammoniaque, la lumière l'altère avec une extrême facilité, en le faisant virer de la teinte jaunâtre qui est sa couleur naturelle, au bistre, puis au noir.

En faisant agir l'acide iodhydrique sur l'argent très-divisé, on obtient l'iodure argentique cristallisé en prismes hexagonaux.

COMBINAISONS DE L'ARGENT AVEC LES MÉTALLOÏDES DIATOMIQUES.

Avec le soufre, l'argent ne forme qu'un seul sulfure qui correspond à la formule  $\text{Ag}^2\text{S}$ ; avec l'oxygène, il forme trois composés : le sous-oxyde  $\text{Ag}^4\text{O}$ , le protoxyde  $\text{Ag}^2\text{O}$  et le bioxyde  $\text{Ag}^2\text{O}^2$ ; de ces trois oxydes, le protoxyde seul présente quelque intérêt.

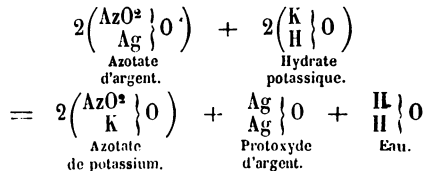
**Sulfure d'argent**  $\left. \begin{matrix} \text{Ag} \\ \text{Ag} \end{matrix} \right\} \text{S}$ . Le sulfure d'argent se rencontre, à l'état naturel, cristallisé dans le système cubique. C'est le principal minerai d'argent; on l'obtient artificiellement en précipitant un sel d'argent par l'acide sulfhydrique :



Le sulfure d'argent est noir; lorsqu'il a été fondu ou fortement chauffé, il prend un aspect métallique; le sulfure naturel a toujours ce dernier aspect. Sa densité est égale à 7,2.

Soumis au grillage, le sulfure d'argent perd de l'anhydride sulfureux, et laisse de l'argent métallique; grillé avec du sel marin, il passe à l'état de chlorure; il subit la même transformation lorsqu'on le laisse pendant longtemps avec du bichlorure de cuivre.

**Protoxyde d'argent**  $\left. \begin{matrix} \text{Ag} \\ \text{Ag} \end{matrix} \right\} \text{O}$ . On obtient cet oxyde sous la forme d'une poudre brune et pesante, lorsqu'on précipite un sel d'argent par l'hydrate de sodium ou de potassium. Il devrait, dans ce cas, produire un hydrate  $\left. \begin{matrix} \text{Ag} \\ \text{H} \end{matrix} \right\} \text{O}$ ; mais cet hydrate n'étant pas stable, c'est du protoxyde qui prend naissance.



L'oxyde d'argent se décompose facilement en oxygène et argent

métallique, lorsqu'on le chauffe. C'est un anhydride basique assez puissant, il se dissout dans les acides en formant des sels bien caractérisés. L'eau en dissout  $\frac{1}{5000}$ , assez pour prendre une légère réaction alcaline et pour décomposer les sels haloides solubles et les phosphates.

Lorsqu'on fait digérer l'oxyde d'argent avec l'ammoniaque, on obtient un composé détonant, dont la formule n'est pas encore sûrement déterminée. Les uns considèrent ce corps (argent fulmi-

nant) comme répondant à la formule  $\left. \begin{array}{c} \text{Ag} \\ \text{H} \end{array} \right\} \text{Az}$ , d'autres croient que

c'est un azoture triargentique  $\left. \begin{array}{c} \text{Ag} \\ \text{Ag} \\ \text{Ag} \end{array} \right\} \text{Az}$ .

**Azotate d'argent**  $\left. \begin{array}{c} \text{AzO}^{\text{a}} \\ \text{Ag} \end{array} \right\} \text{O}$ . L'azotate d'argent se prépare en faisant dissoudre de l'argent dans de l'acide azotique bouillant. Si l'argent employé est pur, l'azotate l'est aussi ; si l'argent renferme du cuivre comme celui des monnaies ou de la joaillerie, l'azotate d'argent est mêlé d'azotate de cuivre. Le meilleur procédé de purification consiste alors à évaporer à siccité et à fondre le résidu en ayant soin de le maintenir fondu pendant quelque temps. L'azotate de cuivre se décompose en oxyde de cuivre et en produits volatils et si la température n'est pas trop élevée, la plus grande partie de l'azotate d'argent reste intacte ; de temps à autre, on prend avec une baguette une faible portion de la masse, on la dissout dans l'eau, on filtre et l'on ajoute de l'ammoniaque à la liqueur. Tant que ce réactif produit une teinte bleue, il reste de l'azotate de cuivre intact ; lorsque l'ammoniaque n'a plus d'action, la décomposition de ce sel est complète.

On dissout alors toute la masse dans l'eau après avoir laissé refroidir, on filtre pour séparer l'oxyde de cuivre, et l'on concentre fortement la solution ; l'azotate d'argent cristallise par le refroidissement de la liqueur. On peut aussi évaporer à siccité, fondre le sel et le couler en plaques sur une assiette de porcelaine, ou en bâtons dans un petit moule de fer forgé ; sous cette dernière forme, il est employé comme caustique superficiel par les médecins, qui lui donnent le nom de pierre infernale.

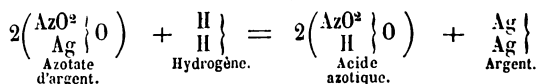
Au lieu de décomposer l'azotate de cuivre comme nous venons de le dire, il est plus simple, dans les laboratoires, de traiter le

mélange des deux sels par un chlorure soluble qui précipite l'argent seul à l'état de chlorure. Ce chlorure bien lavé et desséché est ensuite chauffé au rouge blanc dans un creuset, après avoir été mélangé avec du carbonate de potassium et du sel marin ; il se forme ainsi un culot d'argent très-pur qu'on retire du creuset en brisant ce dernier après refroidissement. Ce culot dissous dans l'acide azotique fournit de l'azotate d'argent très-pur.

L'azotate d'argent cristallise en belles lames rhomboïdales, surtout par l'évaporation de ses solutions acides ; ses cristaux sont transparents ; fondu, il présente l'aspect d'une masse blanche à structure cristalline.

Comme l'azotate d'argent se décompose par la chaleur en donnant de l'argent métallique, il devient noirâtre après avoir subi des fusions répétées. Or, lorsqu'on coule ce sel en bâtons, il y a toujours des résidus que l'on fond une seconde et même une troisième fois, ces résidus prennent alors la couleur noirâtre que présente souvent la pierre infernale.

La solution d'azotate d'argent est décomposée par l'hydrogène, comme elle le serait par un métal, tel que le zinc : de l'acide azotique prend naissance et de l'argent se dépose, seulement la réaction est assez lente.



L'azotate d'argent est décomposé par les substances organiques sous l'influence de la lumière. Aussi noircit-il la peau, et sert-il à marquer le linge et à teindre les cheveux ; les taches qu'il forme sur la peau disparaissent, si on les lave immédiatement avec une solution de cyanure potassique. Quant aux caractères, dits ineffaçables, qu'on trace sur le linge avec l'azotate d'argent, il suffit pour les faire disparaître, de les soumettre à l'action de l'eau de chlore jusqu'à ce qu'elles soient blanches, et de les laver ensuite à l'eau ammoniacale et à l'eau pure.

Les médecins emploient l'azotate d'argent à l'intérieur, comme anti-épileptique. Mais les malades qui le prennent doivent se tenir à l'obscurité, sans quoi leur peau prend une couleur bronzée. Les résultats que l'on obtient par ce médicament sont d'ailleurs douteux.

**Caractères des sels d'argent.** Les sels solubles d'argent se reconnaissent aux caractères suivants :



1° Ils sont toujours incolores quand il n'entre dans leur composition les éléments d'aucun acide coloré ; ils noircissent généralement à la lumière.

2° L'acide chlorhydrique et les chlorures solubles produisent dans leur dissolution un précipité blanc cailleboté de chlorure d'argent qui n'est point attaqué par les acides, mais qui se dissout très-facilement dans l'ammoniaque, le cyanure de potassium et l'hyposulfite de sodium ; ce précipité prend une teinte violette à la lumière.

3° Les arsénites et les phosphates solubles y déterminent la formation d'un précipité jaune clair d'arsénite ou de phosphate d'argent solubles dans l'ammoniaque et dans les acides.

4° Les arséniates y produisent un précipité rouge brique d'arséniate d'argent.

5° L'hydrogène sulfuré y fait naître un précipité noir de sulfure d'argent insoluble dans le sulfhydrate d'ammoniaque, que l'acide azotique concentré transforme facilement en azotate d'argent.

6° Les alcalis fixes donnent en présence des sels d'argent un précipité brun d'oxyde d'argent. Ce précipité mis en contact avec l'ammoniaque devient noir et acquiert des propriétés explosives.

7° Les iodures solubles transforment les sels solubles d'argent en iodure d'argent qui se précipite. Cet iodure est jaunâtre, très-altérable à la lumière, presque insoluble dans l'ammoniaque, mais facilement soluble dans l'hyposulfite de sodium et le cyanure de potassium. L'acide azotique bouillant le décompose lentement avec formation d'azotate d'argent et dégagement de vapeurs violettes d'iode.

## APPENDICE AUX MÉTAUX MONATOMIQUES.

**Combinaisons ammoniacales.** Nous avons vu, en nous occupant de l'ammoniaque, que le résidu  $AzH^4$  (ammonium), peut fonctionner comme un métal monatomique ; les composés de ce radical sont nombreux, les plus importants et les seuls que nous étudierons sont les suivants :

**Monosulfure et sulfhydrate d'ammonium.** Lorsqu'on mêle une basse température deux volumes d'acide sulfhydrique et quatre volumes de gaz ammoniac bien sec, il se produit un corps cristallisé très-instable qui est le monosulfure ammonique  $\begin{matrix} AzH^4 \\ AzH^4 \end{matrix} / S$ .



et les urines provenant des vidanges. Toutes ces matières contiennent, en effet, du carbonate ou du sulfhydrate d'ammonium.

Lorsque l'acide chlorhydrique est trop cher, on traite ces eaux par le sulfate calcique ; une double décomposition s'opère : du carbonate de calcium se précipite, et du sulfate d'ammonium reste dissous. On décante la solution de ce nouveau sel, et lorsqu'elle est concentrée à 19 ou 20 degrés Baumé, on y ajoute du chlorure de sodium en faisant bouillir ; une seconde décomposition se produit : du sulfate de sodium et du chlorure d'ammonium prennent naissance, et la majeure partie du sulfate sodique se dépose pendant l'évaporation. Lorsque ce sel cesse de se déposer, on laisse refroidir la solution ; comme alors la solubilité du chlorure ammonique décroît, tandis que jusqu'à 33°, celle du sulfate de sodium augmente, le chlorure ammonique se dépose seul.

Le sel obtenu de cette manière est ensuite sublimé et livré au commerce sous forme de pains. Le chlorure d'ammonium, connu dans le commerce sous le nom de sel ammoniac, cristallise en petits cubo-octaèdres qui s'enchevêtrent de façon à simuler des aiguilles flexibles.

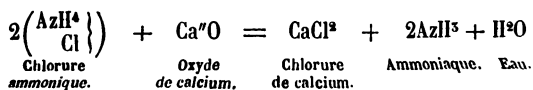
Lorsqu'on le chauffe il se volatilise sans fondre, à moins qu'on ne le soumette à une pression supérieure à celle de l'atmosphère. Le chlorure d'ammonium subit la dissociation lorsqu'il se volatilise ; sa vapeur est formée par un mélange d'ammoniaque et d'acide chlorhydrique



ces deux composés régénèrent le chlorure ammonique lorsqu'on condense la vapeur, de telle sorte que ce sel paraît se volatiliser sans décomposition.

L'alcool absolu le dissout fort peu, il se dissout au contraire dans à peu près son poids d'eau bouillante, et dans 2,7 parties d'eau froide ; il abaisse beaucoup la température en se dissolvant dans l'eau.

Les oxydes alcalins et alcalino-terreux décomposent le chlorure ammonique : de l'ammoniaque se dégage, et un chlorure métallique prend naissance.



**Sulfate d'ammonium**  $SO^{2''}$   $\left\{ \begin{array}{l} OAzH^4 \\ OAzH^4 \end{array} \right.$ . Nous avons vu comment ce sel se fabrique en grand ; on le purifie en le grillant légèrement pour détruire les matières organiques dont il est souillé, et le faisant de nouveau cristalliser.

Le sulfate ammonique se présente en cristaux incolores, isomorphes avec ceux de sulfate de potassium ; il se dissout dans deux parties d'eau froide et dans une partie d'eau bouillante. Il résiste à la température de  $180^\circ$ , sans se décomposer ; au delà de cette température, il se détruit, et si l'on chauffe assez, il se transforme entièrement en produits volatils ; le sulfate d'ammonium étant le moins cher des sels ammoniques, est devenu important en agriculture comme source d'azote.

**Carbonates d'ammonium.** Le carbonate d'ammonium neutre  $CO''$   $\left\{ \begin{array}{l} OAzH^4 \\ OAzH^4 \end{array} \right.$  n'est pas connu à l'état solide ; on n'a pu l'obtenir qu'en dissolution. On prépare le carbonate du commerce qui est formé en grande partie de sesquicarbonate  $(CO^3)^2(AzH^4)^4H^2$  en chauffant dans une cornue de fonte un mélange de craie (carbonate de calcium) et de sulfate ammonique ; le carbonate d'ammonium, qui est volatil, vient se condenser dans les parties froides de l'appareil.

Il a l'aspect d'une masse blanche, translucide, à texture fibreuse ; son odeur est franchement ammoniacale, il présente une réaction alcaline.

Une solution de ce sel sursaturée par de l'anhydride carbonique, laisse déposer des cristaux de bicarbonate inaltérables à l'air qui ont pour formule  $AzH^4 \left\{ \begin{array}{l} CO'' \\ H \end{array} \right\} O^2$ .

Une solution du carbonate d'ammonium commercial dans l'ammoniaque concentrée, laisse déposer au bout de quelques temps le sesquicarbonate en cristaux prismatiques volumineux de la formule  $(CO^3)^2(AzH^4)^4H^2 + 2H^2O$ . Comme on ne conçoit guère comment une telle molécule peut être constituée, il y a lieu de croire que le sesquicarbonate d'ammonium n'est pas un vrai composé atomique, et qu'il est formé par la réunion de deux molécules de bicarbonate ammonique avec une de carbonate neutre.





## GÉNÉRALITÉS SUR LES MÉTAUX MONATOMIQUES.

En qualité de monatomiques, les métaux de ce groupe ne peuvent faire qu'un nombre de combinaisons limité, encore ces combinaisons sont-elles quelquefois instables, comme nous l'avons vu pour l'hydrate d'argent  $\begin{matrix} \text{Ag} \\ \text{H} \end{matrix} \text{O}$ .

On connaît, en dehors de ces combinaisons, qui obéissent aux lois de l'atomicité, d'autres composés qui ne semblent pas y obéir; tel est le chlorure double d'argent et de potassium  $\text{AgCl.KCl}$ , dans lequel l'argent se trouve combiné avec trois atomes monatomiques comme lui.

M. Cannizzaro a émis l'idée que de tels corps sont simplement formés par la juxtaposition de deux molécules différentes; qu'ils sont plutôt semblables à ceux dans lesquels entre l'eau de cristallisation, qu'aux vrais composés atomiques. M. Kekulé, qui est revenu plus tard sur la même idée, a proposé pour ces corps le nom de combinaisons moléculaires.

L'idée de M. Cannizzaro et de M. Kekulé peut être vraie, mais nous avons vu qu'on peut aussi se rendre compte de l'existence des chlorures, des bromures et des iodures doubles, en admettant que les métalloïdes halogènes sont triatomiques, et qu'ils fonctionnent dans ces corps avec leur capacité de saturation maxima. Le chlorure double d'argent et de potassium serait, selon cette hypothèse,  $\begin{matrix} \text{Ag} \\ \text{K} \end{matrix} \text{Cl}_3$ , et sa constitution serait telle que l'indique la formule décomposée suivante :



## DEUXIÈME FAMILLE (MÉTAUX DIATOMIQUES).

—

CALCIUM  $\text{Ca}''$ 

Poids atomique = 40    Poids moléculaire probable = 40

Davy a obtenu le calcium en décomposant la chaux par la pile en présence du mercure et classant, à l'aide de la chaleur.  $\text{b}$

mercure de l'amalgame ainsi produit. Plus récemment, M. Caron a pu isoler ce métal en décomposant le chlorure de calcium par le sodium, en présence du zinc et à une haute température ; le métal s'obtient allié au zinc, on l'en sépare en soumettant l'alliage à l'action d'une très-forte chaleur, après l'avoir placé dans un creuset de charbon de cornue ; ainsi préparé, le calcium contient toujours un peu de fer ; il est d'une couleur jaune laiton.

La densité du calcium est de 1,5778. Ce métal n'est pas sensiblement volatil.

A l'air humide, il s'oxyde et s'hydrate ; après un certain temps, il est entièrement transformé en chaux éteinte.

Dans l'air sec, il se conserve après s'être toutefois recouvert d'une couche grise qui lui ôte l'éclat métallique.

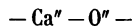
Il brûle difficilement à la flamme du chalumeau à cause de la couche d'oxyde qui se forme immédiatement et qui le préserve d'une oxydation ultérieure.

Le calcium est diatomique ; il est donc capable de s'unir à deux atomes d'un élément monatomique, ou à deux résidus de même atomicité.

Le combine-t-on au chlore, au brome, à l'iode ou au fluor, on obtient le chlorure  $\text{Ca}^{\text{II}}\text{Cl}^2$ , le bromure  $\text{Ca}^{\text{II}}\text{Br}^2$ , l'iodure  $\text{Ca}^{\text{II}}\text{I}^2$  et le fluorure  $\text{Ca}^{\text{II}}\text{F}^2$  ; l'unit-on à l'oxyhydre, on obtient l'hydrate de calcium ou chaux éteinte  $\text{Ca}^{\text{II}} \begin{cases} \text{OH}^{\cdot} \\ \text{OH}^{\cdot} \end{cases}$

Les deux affinités du calcium peuvent aussi être saturées par les deux affinités d'un métalloïde diatomique, tel que l'oxygène ou le soufre, comme dans l'oxyde anhydre  $\text{CaO}$  et dans le monosulfure  $\text{CaS}$ .

Le calcium et l'oxygène, étant diatomiques l'un et l'autre, peuvent encore se saturer incomplètement et donner le groupe  $\text{CaO}^{\text{II}}$  diatomique, comme l'indique la formule suivante



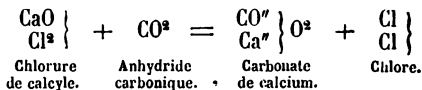
qui montre que les deux éléments diatomiques, ne se saturant réciproquement que par une atomicité, conservent encore chacun une atomicité libre, et que l'ensemble peut fonctionner comme radical diatomique, auquel je donnerai le nom de calcyle.

On connaît l'oxyde de calcyle  $\text{CaO}, \text{O} = \begin{matrix} \text{Ca}^{\text{II}} - \text{O}^{\text{II}} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{O}^{\text{II}} \end{matrix}$  obtenu par l'ac-

tion de l'eau oxygénée sur la chaux, et le bichlorure de calcyle  $\text{CaO,Cl}^2 = \text{Cl} - \text{Ca}'' - \text{O}'' - \text{Cl}$ , obtenu par l'action du chlore sur le même corps.

Ces composés calcyliques sont remarquables par leur instabilité; tous les corps qui ont une tendance soit à se combiner directement à l'oxyde de calcium, soit à faire avec lui la double décomposition, mettent en liberté l'élément primitivement combiné avec cet oxyde. Ainsi, en faisant agir les acides sur le bioxyde de calcium ou sur le chlorure de calcyle, on met en liberté de l'oxygène ou du chlore et l'on donne naissance à un sel de calcium.

L'hygiène a mis à profit cette propriété du chlorure de calcyle (chlorure de chaux) pour avoir un dégagement constant et lent de chlore; il suffit pour cela d'abandonner ce composé au contact de l'air, l'anhydride carbonique s'empare de l'oxyde de calcium pour donner naissance à du carbonate de calcium et du chlore se dégage :



Avant de connaître la diatomicité du calcium, on considérait le chlorure de chaux comme un mélange de chlorure et d'hypochlorite de calcium que l'on écrivait  $\text{CaCl} \frac{1}{2} \text{CaClO}$ , en attribuant au calcium le poids atomique 20.

Aujourd'hui il est plus simple de considérer ce corps comme du chlorure simple de calcyle; il est cependant possible qu'il soit formé d'un mélange de chlorure et d'hypochlorite de calcium et qu'on doive écrire sa formule  $\text{CaCl}^2 + \frac{\text{Ca}''}{\text{Cl}^2} \text{O}^2$ .

Au lieu du calcyle  $\text{CaO}$ , on peut avoir le sulfocalcyle  $\text{CaS}''$  et même des radicaux plus sulfurés encore; ainsi s'expliquent l'existence du bisulfure de calcium  $\text{Ca}''\text{S}^2 = \text{CaS}''\text{S}$ , et celle du pentasulfure du même métal  $\text{CaS}''^5\text{S}$ .

Parmi les composés que forme le calcium, les plus importants sont : le carbonate de calcium, l'oxyde de calcium ou chaux, le chlorure de calcium, le sulfate de calcium et les phosphates de calcium.

**Chlorure de calcium**  $\text{Ca}''\text{Cl}^2$ . On obtient ce corps en dissolvant du marbre blanc dans de l'acide chlorhydrique pur, évaporant



ueur, fondant le résidu dans un creuset et le coulaque de marbre. Dès que le chlorure de calcium n le concasse, et on le met dans des flacons pendant re chaud, afin qu'il n'ait pas le temps de devenir lchlorure de calcium se présente alors sous la forme de hes.

si se contenter d'évaporer à siccité la solution de ce écher ce dernier sans le fondre; il affecte alors une euse.

eut abandonner au refroidissement une solution con- ad de chlorure de calcium. Le sel cristallise, dans ce es à six pans terminés par des pyramides à six faces ; ont des hydrates, et ont pour formule  $\text{Ca}^{\text{II}}\text{Cl}^{\text{I}} + 6 \text{H}^{\text{I}}\text{O}$ . e de calcium fondu ou simplement desséché est anhy- sout dans l'eau en dégageant beaucoup de chaleur liquescent ; on s'en sert pour dessécher les gaz, ainsi es dans lesquels il ne se dissout pas. Pour les gaz, on orure spongieux et pour les liquides le chlorure fondu.

**e de calcium**  $\left. \begin{matrix} \text{CO}^{\text{II}} \\ \text{Ca}^{\text{II}} \end{matrix} \right\} \text{O}^{\text{I}}$ . Ce corps est très-répendu re, où il existe, soit cristallisé, soit amorphe et avec agrégation fort variables. Le marbre, l'arragonite, le de, la craie, la pierre à chaux, la calcaire oolithique, nstitués par du carbonate de calcium.

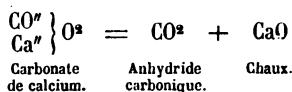
ite de calcium se décompose avant de fondre, à moins êche l'anhydride carbonique de se dégager en chauff- ance dans un vase fermé ; dans ce dernier cas, il foud en se refroidissant : la substance qui se forme est marbre qu'on peut même veiner en y ajoutant des s.

ate de calcium est blanc ; il est à peu près insoluble ure. Ce liquide en dissoudrait, suivant M. Péligot, 0<sup>rs</sup>, 02 se dissout dans l'eau chargée d'anhydride carbonique rs à l'état de bicarbonate. Il suffit de faire bouillir ution pour que le carbonate neutre se précipite en s que l'anhydride carbonique se dégage. Cette propriété ourquoi certaines eaux produisent ces incrustations es stalagmites et ces stalactites que l'on rencontre ottes, etc., etc.

Le carbonate de calcium est dimorphe ; le spath d'Islande et l'arragonite représentent, en effet, deux variétés de ce corps cristallisé dans deux systèmes différents.

En faisant agir les divers acides sur le carbonate de calcium, on obtient un sel de calcium correspondant à l'acide employé et un dégagement d'anhydride carbonique.

**Oxyde de calcium** (*chaux*). On prépare la chaux en calcinant au rouge le carbonate calcique :



La chaux est blanche. En présence de l'eau, elle foisonne et se délite en dégageant beaucoup de chaleur ; elle se transforme alors en hydrate de calcium  $\left. \begin{array}{l} \text{Ca}'' \\ \text{H}^{\text{a}} \end{array} \right\} \text{O}^{\text{a}}$ . Cet hydrate, sous l'influence de la chaleur rouge, perd une molécule d'eau et retourne à l'état de chaux anhydre  $\text{Ca}''\text{O}$ . L'hydrate calcique a reçu le nom de chaux éteinte.

La chaux est blanche et infusible aux plus hautes températures, l'eau la dissout un peu ; sa solubilité est moindre à chaud qu'à froid ; 1 partie de chaux exige pour se dissoudre 778 parties d'eau à 15° et 1270 parties d'eau à 100°.

L'eau sucrée dissout une grande quantité de chaux ; la solution additionnée d'alcool dépose un composé de chaux et de sucre. La solution de sucrate de chaux se coagule également par la chaleur.

On admet ordinairement que la chaux portée au rouge sombre favorise la décomposition du gaz ammoniac, mais M. Bouis a reconnu qu'il n'y a rien de fondé dans cette assertion.

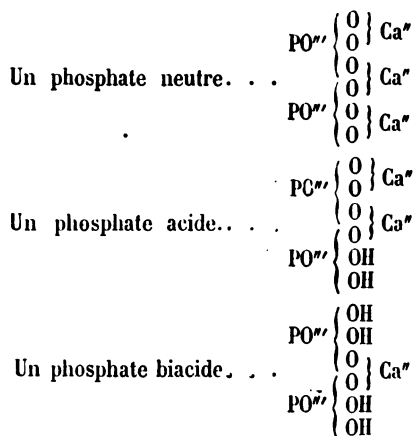
La chaux abandonnée à l'air se transforme en carbonate calcique. Mêlée à des matières siliceuses, comme le sable quartzeux et même à des matières non siliceuses, comme la dolomie (carbonate double de calcium et de magnésium), elle donne les mortiers.

La chaux qui renferme de l'argile (silicate d'alumine) a la propriété de durcir sous l'eau. Ce sont de tels mélanges qui constituent les chaux hydrauliques et les ciments. Ces derniers contiennent plus d'argile que les chaux hydrauliques. Quand la chaux, sans contenir de l'argile, contient des substances étrangères, comme la magnésie, elle n'a plus la propriété de foisonner faci-

présence de l'eau. On la nomme alors chaux maigre, on à la chaux la plus pure du commerce, qui prend le nom de chaux grasse.

En laboratoire on obtient la chaux pure en décomposant les carbonates purs, comme le spath d'Islande ou le carbonate statuaire. Toutefois on est presque toujours obligé de laver la chaux ainsi préparée à l'eau distillée, et de passer d'une petite quantité de chlorure qu'elle ren-

**tes de calcium.** On connaît trois phosphates de cal-



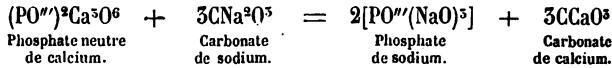
**phosphate neutre**  $(PO'')_2Ca^2O^6$ . Ce phosphate, improprement le nom de phosphate basique, forme la base des os des animaux et y est uni à du carbonate de calcium et à une matière organique. On trouve des gisements considérables de ce sel dans la nature (apatite, phosphorite) ; on peut l'obtenir artificiellement en faisant un mélange de phosphate alcalin et d'ammoniaque et en précipitant le phosphate de calcium, lavant et desséchant le précipité qui

est le phosphate neutre de calcium est insoluble dans l'eau ; mais on le précipite à la faveur de l'anhydride carbonique. On a voulu empêcher sa présence dans les végétaux ; selon M. Paul Thénard, les végétaux absorberaient du phosphate d'am-

monium, et des sels de calcium solubles qui donneraient ensuite du phosphate de calcium par double décomposition.

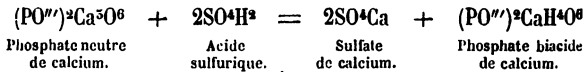
Les acides le font passer à l'état de phosphate acide.

Bouilli avec du carbonate de sodium dissous dans l'eau, il donne du carbonate de calcium et du phosphate de sodium.



**Phosphate acide de calcium**  $(\text{PO}^{\prime\prime})^2\text{Ca}^2\text{H}^2\text{O}^6 + 4 \text{H}^2\text{O}$ . Ce sel s'obtient lorsqu'on précipite une dissolution de phosphate de sodium par une dissolution de chlorure de calcium. On l'appelle improprement phosphate neutre.

**Phosphate biacide de calcium**  $(\text{PO}^{\prime\prime})^2\text{Ca}^2\text{H}^4\text{O}^6$ . On prépare ce sel en traitant le phosphate neutre par l'acide sulfurique, et reprenant par l'eau, qui dissout le phosphate acide, et laisse le sulfate calcique formé dans la réaction.



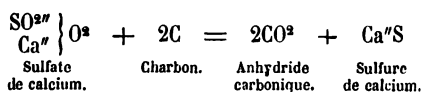
Ce sel est ordinairement désigné sous le nom de phosphate acide; il sert à la préparation du phosphore et surtout comme engrais dans l'agriculture; depuis ces dernières années, la fabrication du phosphate acide de calcium se fait sur une vaste échelle; on traite simplement le phosphate neutre naturel dont on a découvert plusieurs gisements en France, par l'acide sulfurique et on emploie le produit qu'on désigne dans le commerce sous le nom de superphosphate de calcium, tel quel, comme engrais dans l'agriculture. Le traitement par l'acide sulfurique a rendu l'acide phosphorique soluble dans l'eau et par suite très-facilement assimilable par les plantes.

**Sulfate de calcium.** On rencontre dans la nature du sulfate de calcium hydraté répondant à la formule  $\left. \begin{array}{l} \text{SO}^4 \\ \text{Ca}^2 \end{array} \right\} \text{O}^2 + 2\text{H}^2\text{O}$ ; c'est le gypse, matière première pour la fabrication du plâtre à bâtir, et du sulfate de calcium anhydre connu en minéralogie sous le nom d'anhydrite. Ce dernier est sans usage.

Le sulfate de calcium hydraté se trouve souvent en cristaux transparents qui ont la forme de fer de lance et qui se clivent fa-

cilement. Il est peu soluble dans l'eau et sa solubilité ne varie pas avec la température. Sa densité est de 2,31.

A chaud, le gypse perd son eau de cristallisation. Si on ne l'a pas trop fortement calciné, il est susceptible de la reprendre en formant une pâte liante, qui durcit bientôt. C'est là ce qui constitue le plâtre à bâtir. Trop fortement chauffé, il devient, comme l'anhydrite, incapable de se combiner à l'eau, et par suite ne peut plus être employé à aucun usage. Chauffé avec des corps réducteurs, comme le charbon, le sulfate de calcium perd son oxygène et laisse un résidu de sulfure de calcium :



**Caractères distinctifs des sels de calcium.** Les sels de calcium se reconnaissent aux caractères suivants :

1° Les carbonates alcalins les précipitent. Le précipité, qui n'est autre que du carbonate de calcium, se dissout dans une quantité d'eau suffisante, à la faveur d'un courant de gaz carbonique. Mais il se dépose de nouveau par l'ébullition de la liqueur.

2° Les sulfates solubles et l'acide sulfurique les précipitent en blanc, mais comme le sulfate de calcium se dissout dans 500 p. d'eau, on n'obtient pas de précipité avec les dissolutions très-étendues; il suffit cependant, dans ce cas, d'ajouter les liqueurs d'alcool pour faire paraître le précipité.

3° L'acide oxalique et les oxalates solubles y produisent un précipité grenu d'oxalate de calcium insoluble dans l'eau, l'acide acétique et la solution aqueuse de chlorhydrate d'ammoniaque, mais soluble dans l'acide azotique et l'acide chlorhydrique étendus.

4° L'acide hydrofluosilicique ne trouble pas la dissolution des sels de calcium.

5° Le chlorure de calcium et l'azotate de calcium sont facilement solubles dans l'alcool et colorent la flamme de l'alcool en rouge orangé.

#### STRONTIUM Sr''

Poids atomique du strontium = 87,5  
Poids moléculaire probable = 87,5

#### BARYUM Ba''

Poids atomique du baryum = 137  
Poids moléculaire probable = 137

Le baryum et le strontium sont deux métaux qui présentent de

si grandes analogies que nous avons cru ne pas devoir séparer leur étude.

Ces métaux peuvent être préparés au moyen de la pile, par un procédé semblable à celui que nous avons décrit à l'occasion du calcium. Le baryum a été également obtenu par l'action du sodium sur l'oxyde de baryum chauffé au rouge.

Le baryum a une densité de 4 ou 5, et le strontium de 2,5. Le premier de ces métaux est d'un blanc d'argent et le second a une couleur jaune; ni l'un ni l'autre n'ont une volatilité suffisante pour qu'on puisse les distiller.

Le baryum et le strontium se comportent dans leurs combinaisons comme le calcium. Ils sont diatomiques, et par suite se combinent à un atome d'oxygène ou de soufre ou à deux atomes monatomiques. Ainsi on connaît :

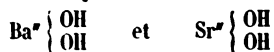
Le protoxyde de baryum ou baryte  $Ba^{\circ}O$  et le protoxyde de strontium ou strontiane  $Sr^{\circ}O$  ;

Les monosulfures de baryum et de strontium  $Ba^{\circ}S$  et  $Sr^{\circ}S$  ;

Les chlorures de baryum et de strontium  $Ba^{\circ}Cl^2$  et  $Sr^{\circ}Cl^2$ , etc.

En outre, un atome de l'un de ces métaux étant capable de s'unir à un autre atome diatomique en formant un groupe de même atomicité que lui, on peut avoir des oxydes et des sulfures de baryum et de strontium à plusieurs atomes d'oxygène, des oxychlorures, etc. Les seuls connus de ces composés sont le bioxyde de baryum  $BaO^2$ , qui s'obtient en chauffant le protoxyde au rouge sombre dans un courant d'air; le bioxyde de strontium  $SrO^2$  que l'on prépare en faisant agir l'eau oxygénée sur le protoxyde, et les oxychlorures  $BaOCl^2$  et  $SrOCl^2$ , que, d'après la nomenclature déjà adoptée par nous pour les composés analogues du calcium, nous appellerons chlorure de barytyle et chlorure de stronzyle.

Enfin, le baryum et le strontium peuvent se combiner avec deux oxydryles, et donner les hydrates

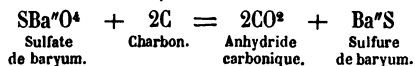


Ces hydrates prennent naissance dans l'action directe de l'eau sur les oxydes anhydres correspondants, mais ne peuvent point régénérer ces oxydes anhydres par la calcination. Soumis à l'action du chlore, ils perdent de l'eau et donnent les oxychlorures dont nous avons parlé.

## CARACT. DISTINCT. DES SELS DE BARYUM ET DE STRONTIUM. 317

Les principaux minerais de baryum et de strontium sont les sulfates de ces métaux (barytine et célestine), cependant on trouve aussi les carbonates (withérite et strontianite) assez abondamment dans la nature. On peut préparer tous leurs autres composés au moyen des sulfates par le procédé suivant :

Le sulfate est calciné avec du charbon, qui le réduit à l'état de sulfure :



Ce sulfure est ensuite traité par l'acide azotique étendu. Il se produit un azotate et de l'acide sulfhydrique. L'azotate, calciné dans une cornue de porcelaine, laisse de la baryte ou de la strontiane anhydre (oxyde anhydre de baryum ou de strontium).

La baryte et la strontiane se délitent en présence de l'eau et passent à l'état d'hydrates. Ces hydrates, en réagissant sur les divers acides, peuvent donner tous les sels connus de ces deux métaux.

On peut encore précipiter la solution aqueuse du sulfure de baryum ou de strontium par un carbonate alcalin. Il se forme ainsi un carbonate insoluble. Ce carbonate permet ensuite de préparer tous les sels possibles. Il suffit pour cela de le traiter par les divers acides.

Enfin, on peut traiter la solution du sulfure directement par l'acide dont on veut obtenir le sel.

**Caractères distinctifs des sels de baryum et de strontium.** Les sels de baryum et de strontium se reconnaissent aux caractères suivants :

1° Ils sont précipités par le carbonate d'ammonium, ce qui les distingue des sels alcalins et des sels magnésiens, et les rapproche des sels calciques.

2° Les solutions très-étendues d'acide sulfurique et des sulfates solubles, et même la dissolution du sulfate de calcium, précipitent ces sels. Cette propriété les éloigne des sels calciques, qui ne sont point troublés par la solution du dernier de ces réactifs.

3° Les sels barytiques et stronziques se distinguent entre eux par les réactions de l'acide hydrofluosilicique et de la solution étendue de chromate de potassium, qui précipitent seulement les sels barytiques. Ils se distinguent aussi par la solubilité du chlo-

rure de strontium dans l'alcool absolu, où le chlorure de bar est tout à fait insoluble, et par la coloration que ces chlorures et en général tous les sels barytiques et strontiques un peu solubles, communiquent à la flamme du bec Bunsen ou à la flamme de l'alcool. Les composés barytiques produisent une coloration verte, tandis que les sels de strontium colorent la flamme en un rouge cramoisi.

### MAGNÉSIUM Mg

Poids atomique = 24    Poids moléculaire probable = 24

MM. Deville et Caron ont obtenu le magnésium par le procédé suivant :

On fait un mélange de

Chlorure de magnésium anhydre . . . . .	6 parties.
Sodium coupé en morceaux . . . . .	1
Fluorure de calcium . . . . .	1
Chlorure de potassium . . . . .	1

On jette ce mélange dans un creuset rouge qu'on recouvre de son couvercle. Quand la fusion est complète, on agite la masse, et après le refroidissement on brise le creuset, où l'on trouve de petits globules de magnésium qu'on agglomère par une nouvelle fusion. Dans cette opération le sodium déplace le magnésium. Le chlorure de potassium sert à produire un chlorure double plus facile à attaquer que le chlorure de magnésium pur. Quant au fluo-  
de calcium, il fait l'office de fondant.

La densité du magnésium est de 1,745. Ce métal fond à une chaleur modérée et peut être distillé comme le zinc. Ses vapeurs brûlent à l'air avec un vif éclat. Cet éclat est plus considérable encore lorsque la combustion a lieu dans l'oxygène. Le magnésium brûle aussi dans l'anhydride carbonique, en s'emparant de l'oxygène et mettant du charbon en liberté.

Le magnésium pur présente la blancheur et l'éclat de l'argent. Il est inaltérable à l'air sec, mais se ternit rapidement à l'air humide. Il se dissout avec facilité dans les acides étendus en dégagant de l'hydrogène, et peut même décomposer l'eau à froid. Toutefois cette dernière décomposition est fort lente.



Enfin, le magnésium brûle dans le chlore, et les vapeurs de brome, d'iode et de soufre. Il se combine au rouge directement avec l'azote.

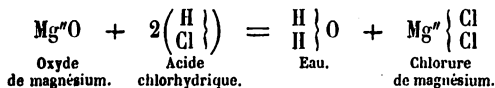
Le magnésium est diatomique ; il peut donner des composés de même nature que le baryum, le strontium et le calcium. On connaît :

Le chlorure de magnésium . . . .	MgCl <sup>2</sup>
Le bromure de magnésium. . . .	MgBr <sup>2</sup>
L'iodure de magnésium. . . . .	MgI <sup>2</sup>
Le fluorure de magnésium . . . .	MgF <sup>2</sup>
L'oxyde anhydre de magnésium. .	MgO
Le sulfure de magnésium. . . . .	MgS
L'hydrate de magnésium. . . . .	Mg <sup>n</sup> { OH OH
L'azoture de magnésium. . . . .	Mg <sup>3n</sup> Az <sup>2n</sup>

et divers sels provenant de la substitution du magnésium à l'hydrogène basique des acides.

Le chlorure, l'oxyde, l'hydrate et, parmi les sels oxygénés, le carbonate et le sulfate, sont les seuls composés importants de magnésium.

**Chlorure de magnésium** Mg<sup>n</sup>Cl<sup>2</sup>. Lorsqu'on dissout l'oxyde ou l'hydrate de magnésium dans l'acide chlorhydrique, de l'eau et du chlorure de magnésium prennent naissance :



Mais dès qu'on évapore la solution et qu'elle arrive à une certaine concentration, une réaction inverse de la précédente se produit, l'eau et le chlorure de magnésium se décomposent réciproquement, de l'acide chlorhydrique se dégage, et il reste un résidu d'oxyde magnésique.

Pour obtenir le chlorure de magnésium anhydre, on ajoute du chlorure d'ammonium à la solution de ce sel ; il se forme alors un chlorure double de magnésium et d'ammonium qui peut être évaporé sans subir de décomposition ; lorsque l'évaporation est terminée on élève assez la température pour que le chlorure ammonique se volatilise et, finalement, il reste de belles laines blanches micacées de chlorure de magnésium.

Le chlorure de magnésium sert à la fabrication du magnésium et se prépare industriellement.

La présence du chlorure de magnésium dans presque toutes les eaux est cause que l'eau distillée a toujours une légère réaction acide, et contient des traces d'acide chlorhydrique si l'on n'a soin d'ajouter un peu de chaux dans la cucurbite de l'alambic.

**Oxyde de magnésium** MgO. On obtient l'oxyde anhydre de magnésium en calcinant l'hydrate, le carbonate ou l'azotate de ce métal. C'est ordinairement à l'aide du carbonate qu'on le prépare; on se servirait de l'azotate dans le cas spécial où l'on se proposerait d'obtenir un produit plus dense.

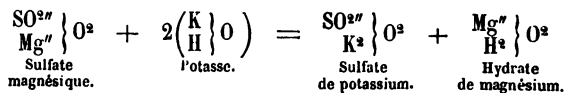
L'oxyde préparé à l'aide du carbonate est extrêmement léger, il porte en pharmacie le nom de magnésie calcinée.

L'oxyde de magnésium est un corps blanc, infusible aux plus hautes températures que nous connaissons, et soluble dans la proportion de  $\frac{1 \text{ à } 2}{100000}$ .

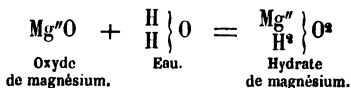
L'oxyde de magnésium se dissout facilement dans les acides en formant des sels bien caractérisés. C'est un anhydride basique.

En médecine, la magnésie calcinée sert à dissiper les aigreurs d'estomac; on l'emploie aussi contre les empoisonnements par les acides de l'arsenic.

**Hydrate de magnésium**  $\begin{matrix} \text{Mg}'' \\ \text{H}^{\text{a}} \end{matrix} \left. \vphantom{\begin{matrix} \text{Mg}'' \\ \text{H}^{\text{a}} \end{matrix}} \right\} \text{O}^{\text{a}}$ . On prépare généralement ce corps en précipitant un sel de magnésium par la potasse ou la soude,



recueillant et lavant bien le précipité. On peut aussi abandonner de la magnésie calcinée en présence de l'eau; pourvu que la calcination n'ait pas été trop forte, l'oxyde et l'eau se combinent directement :



Cet hydrate se rencontre cristallisé dans la nature, mais jusqu'ici on n'a pas pu reproduire artificiellement ces cristaux.

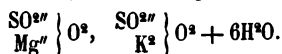
L'hydrate de magnésium bleuit lentement le papier de tournesol rougi ; c'est une base qui fait la double décomposition avec les acides et avec leurs anhydrides ; lorsqu'il est amorphe, cet oxyde attire directement l'anhydride carbonique de l'air.

**Sulfate de magnésium**  $\left. \begin{matrix} \text{SO}^{2n} \\ \text{Mg}^n \end{matrix} \right\} \text{O}^2 + 7\text{H}^2\text{O}$ . On prépare généralement le sulfate de magnésium à l'aide de la dolomie, carbonate double de calcium et de magnésium qui abonde dans la nature, et qui est la principale source des composés magnésiques. A cet effet, on traite ce minerai par l'acide sulfurique : il se dégage de l'anhydride carbonique, et il se forme à la fois des sulfates de calcium et de magnésium. Le dernier de ces sulfates étant très-soluble, tandis que le premier l'est à peine, on les sépare facilement par cristallisation.

On peut aussi retirer le sulfate de magnésium de l'eau de mer ou de certaines eaux minérales.

Le sulfate de magnésium est incolore ; sa saveur est amère et fort désagréable. Il se dissout dans 3,05 parties d'eau à 14°, et dans 1,58 seulement à 97°. S'il cristallise de sa solution aqueuse à la température ordinaire, il affecte la forme de petits prismes allongés qui renferment 7 molécules d'eau ; mais on peut aussi l'obtenir cristallisé avec 2, 6 et 12 molécules d'eau, en faisant varier les conditions de l'expérience : à 0°, par exemple, il cristallise avec 12H<sup>2</sup>O. Chauffé à 132°, il retient encore une molécule d'eau, qu'il ne perd qu'à 210°.

Le sulfate de magnésium forme avec les sulfates alcalins des sulfates doubles qui cristallisent avec 6 molécules d'eau. Le sel double de magnésium et de potassium répond à la formule :

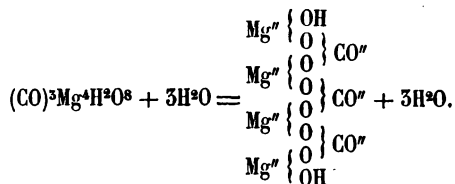


Le sulfate de magnésium est employé en médecine comme purgatif à la dose de 30 à 60 grammes.

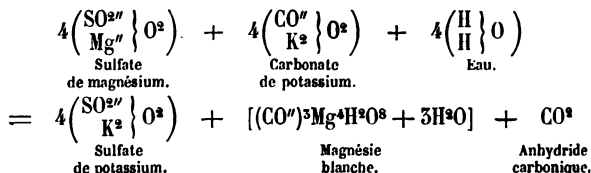
On a constaté que du sulfate de magnésium prend naissance, lorsqu'on fait filtrer de l'eau saturée de sulfate de calcium sur du carbonate de magnésium ; ce fait explique la formation du sulfate magnésique que les eaux minérales renferment. Selon toute probabilité, ce sel se produit par le passage d'eau saturée de sulfate de calcium à travers des terrains dolomitiques.

**Carbonates de magnésium.** Lorsqu'on précipite la solution

de sulfate de magnésium par un carbonate alcalin, il se dégage de l'anhydride carbonique, et l'on obtient un précipité qui, lavé, desséché et mis sous forme de cubes, est vendu dans les pharmacies sous le nom de magnésie blanche, *Magnesia alba*. Ce corps est un tricarbonaté tétramagnésique qui répond à la formule :



L'équation qui rend compte de la formation de ce composé est la suivante :



La magnésie blanche happe à la langue, et n'a aucun goût, bien qu'un peu soluble ; elle se dissout dans les acides, en donnant des sels magnésiens, tandis que de l'anhydride carbonique se dégage. En médecine, on l'emploie contre les acidités de l'estomac.

Lorsqu'on met la magnésie blanche en suspension dans l'eau, et qu'on fait passer à travers la liqueur un courant de gaz carbonique, il se forme un bicarbonate de magnésium qui se dissout.

La dissolution de ce sel évaporée dans un courant d'anhydride carbonique, abandonne du carbonate neutre de magnésium anhydre  $CO'' \left\{ \begin{array}{l} O'' \\ Mg'' \end{array} \right\} O^2$  ; par l'évaporation spontanée, la même solution laisse déposer du carbonate neutre hydraté ; si l'évaporation a lieu à la température ordinaire, les cristaux qui se forment renferment  $3H^2O$  ; ils en contiennent 5, lorsque l'évaporation se fait à une basse température : les cristaux qui renferment  $5H^2O$ , sont efflorescents.

**Réactions des sels magnésiens.** Les sels magnésiens solubles se reconnaissent aux caractères suivants :

nt précipités ni par l'acide sulfhydrique, ni par les  
ins ;

nate d'ammonium ne les précipite pas ;

niaque y fait naître un précipité d'hydrate de magné-  
iqueurs sont neutres et ne contiennent pas de sels

, sans quoi il se formerait un sel double ammoniaco-  
idécomposable par l'ammoniaque. Même quand la

autre, la moitié du sel seulement est décomposée,  
e produit dans la réaction un sel ammoniacal qui

décomposition de l'autre moitié ;

phate d'ammonium produit dans la solution des sels  
n un précipité grenu et cristallin de phosphate am-

nésien.

### ZINC Zn

Poids atomique = 65,2    Poids moléculaire = 65,2

xtrait de la blende (sulfure de zinc) et de la calamine  
e zinc). Ces deux minerais sont grillés. La blende se  
n oxyde par oxydation en même temps qu'il se dégage  
de sulfureux, et le carbonate donne également de  
ordant de l'anhydride carbonique. L'oxyde produit,  
du charbon au rouge blanc, donne du zinc métal-  
sert d'appareils de différentes formes pour effectuer  
ion ; l'ancienne méthode *per descensum*, au moyen d'un  
permettait au métal devenu libre de s'écouler à l'état  
presque abandonnée. On emploie généralement la mé-  
nne ou belge, qui toutes les deux consistent à chauffer  
orte de cornue munie d'un récipient un mélange de ni-  
et de charbon ; le zinc mis en liberté se volatilise et  
; dans le récipient. Ces deux méthodes ne diffèrent  
ent que par la forme de l'appareil distillatoire, qui est  
des moules en terre réfractaire dans le procédé silé-  
des cylindres dans le procédé belge.

lu commerce est impur ; on peut le distiller, mais on  
t que difficilement à le débarrasser ainsi des métaux  
Le meilleur moyen pour l'avoir pur, consiste à le fondre

à plusieurs reprises avec de petites quantités de nitre, qui oxyde les métaux étrangers.

Le zinc présente une couleur d'un gris bleuâtre, il paraît être dimorphe; son point de fusion est 500°, il distille au rouge blanc.

Le zinc est peu flexible, mais très-malléable; lorsqu'il est allié à d'autres métaux, il devient cassant; il acquiert la même propriété lorsqu'on le chauffe à 200°.

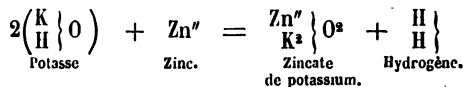
Le zinc a une densité qui varie de 6,86 à 7,21, selon qu'il est simplement fondu ou qu'il est laminé.

À la température ordinaire, le zinc s'oxyde à la surface, mais l'oxyde formé préserve le métal d'une oxydation ultérieure; au rouge, il brûle avec beaucoup d'éclat, en répandant des fumées blanches d'oxyde de zinc. C'est même ainsi que l'on prépare cet oxyde dans l'industrie.

Le zinc décompose la vapeur d'eau à 100°; à froid, il se substitue à l'hydrogène des acides. Nous avons vu que c'est sur cette propriété qu'est fondée la préparation de l'hydrogène.

L'argent, l'or, le platine, le cuivre, le bismuth, l'antimoine, l'arsenic, l'étain, le cadmium, le mercure, le plomb, etc., sont déplacés par le zinc de leurs solutions salines.

À chaud, les hydrates de potassium et de sodium, et même la solution d'ammoniaque, dissolvent ce métal avec dégagement d'hydrogène. Avec les alcalis fixes, il se forme, dans ce cas, des zincates alcalins.



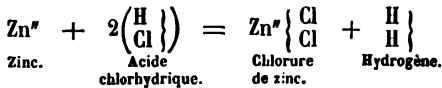
En sa qualité de métal diatomique, le zinc se combine avec deux atomes de chlore, de brome et d'iode, en donnant un chlorure  $\text{Zn}^{\text{II}} \left\{ \begin{array}{c} \text{Cl} \\ \text{Cl} \end{array} \right\}$ , un bromure  $\text{Zn}^{\text{II}} \left\{ \begin{array}{c} \text{Br} \\ \text{Br} \end{array} \right\}$  et un iodure  $\text{Zn}^{\text{II}} \left\{ \begin{array}{c} \text{I} \\ \text{I} \end{array} \right\}$ . Ce métal forme, en outre, avec l'oxygène un protoxyde  $\text{Zn}^{\text{II}}\text{O}$ ; au protoxyde correspond un hydrate  $\begin{array}{c} \text{Zn}^{\text{II}} \\ \text{H}_2 \end{array} \text{O}_2$ , qui fournit une série de sels par la substitution des radicaux acides à l'hydrogène typique qu'il renferme. Enfin, le zinc forme avec le soufre un monosulfure  $\text{Zn}^{\text{II}}\text{S}$ .

Le zinc est d'un emploi très-multiple; en dehors de ses usages à l'état laminé, il sert au coulage de décors d'architecture, à la

du fer galvanisé (fer recouvert d'une mince couche d'obtention du blanc de zinc pour la peinture ; il entre en composition du laiton (cuivre jaune), etc.

MANIÈRES DU ZINC AVEC LES MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES

**Chlorure de zinc**  $Zn^{n} \left\{ \begin{matrix} Cl \\ Cl \end{matrix} \right.$ . On peut préparer ce corps en chauffant dans un courant de chlore. Le métal brûle dans ce courant et se convertit en chlorure, mais on obtient le chlorure de zinc pur en dissolvant le zinc dans l'acide chlorhydrique.



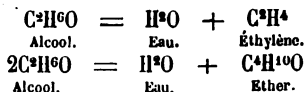
Le métal est dissous, on filtre pour séparer quelques impuretés que le zinc du commerce contient, et qui ne se dissolvent pas ; puis on évapore à siccité.

L'évaporation est achevée, on donne un coup de feu à la masse, on la coule sur une dalle propre, et dès qu'elle est solidifiée, on la concasse, et on la met dans un flacon bouché. Si on la laissait se refroidir à l'air, elle deviendrait cassante. Les anciens chimistes donnaient à cette substance le nom de beurre de zinc.

Après l'évaporation à sec, arrête-t-on l'opération lorsque la solution est déjà fort concentrée, le chlorure de zinc se dépose par siccité en cristaux hydratés.

Le chlorure de zinc pur est blanc, il fond à 250° ; à 400°, il se décompose et répand des vapeurs. C'est un corps extrêmement volatil ; il produit beaucoup de chaleur en se dissolvant dans l'eau ; son avidité pour ce liquide est telle qu'il mortifie les métaux, en s'emparant de l'eau qu'ils renferment. Aussi les chimistes l'emploient-ils comme caustique.

Le chlorure de zinc dissout également le chlorure de zinc. Lorsqu'on chauffe la solution, l'alcool se déshydrate, et selon la proportion de chlorure de zinc et de zinc que l'on a employée, il se produit de l'éthylène ou de l'éther  $C^2H^4O$ .



**Bromure de zinc**  $Zn'' \left\{ \begin{array}{l} Br \\ Br \end{array} \right.$ . Il s'obtient comme le chlo et jouit de propriétés analogues.

**Iodure de zinc**  $Zn'' \left\{ \begin{array}{l} I \\ I \end{array} \right.$ . On le prépare en broyant de l'io de la limaille de zinc sous l'eau. C'est un corps blanc soluble l'eau. Il se présente en aiguilles cristallines blanches ; sa saveu styptique et désagréable. Ce composé pourrait être employ médecine. Suivant Bouchardat, il serait très-préférable à l'iodu plomb.

#### COMBINAISONS DU ZINC AVEC LES MÉTALLOÏDES DIATOMIQUES.

**Protoxyde de zinc**  $Zn''O$ . Dans l'industrie, on prépare dir ment l'oxyde de zinc par la combustion directe du métal. . effet, on chauffe le zinc jusqu'à ce qu'il répande des vapeurs, l'enflamme ; la fumée est ensuite entraînée par un courant dans une série de chambres, où l'oxyde de zinc se dépose.

L'oxyde de zinc ainsi préparé se nommait autrefois *lana p sophica, nihilum album, fleurs de zinc*.

On pourrait aussi préparer l'oxyde de zinc en chauffant l'hyd l'azotate ou le carbonate de ce métal, ou en calcinant le bisulf zinc, obtenu lui-même par l'action de l'anhydride sulfureux la blende (sulfure de zinc) pulvérisée et en suspension dans l'

L'oxyde de zinc est blanc à la température ordinaire ; il ja lorsqu'on le chauffe, et reprend sa couleur première en se rel dissant. Lorsqu'il provient de la calcination du métal, il est lége floconneux ; lorsqu'il a été préparé à l'aide du bisulfite, il prés un aspect spongieux et est également très-léger ; enfin, lorsqu l'a obtenu en calcinant l'azotate, il est pulvérulent et lourd.

L'oxyde de zinc est absolument fixe, l'eau n'en dissout  $\frac{1}{100000}$ , ce qui n'empêche pas la solution de bleuir très-légèren la teinture de tournesol rougie.

L'oxyde de zinc est un anhydride basique, qui fait la double composition avec les acides, et donne des sels bien défi isomorphes avec ceux de magnésium.

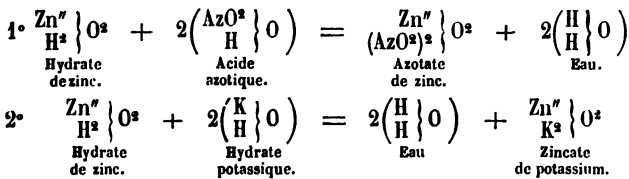
Il est employé en médecine comme antispasmodique ; on vanté contre l'épilepsie. Il est aujourd'hui employé, sous le r de blanc de zinc, dans la peinture où il remplace la céruse (c bonate de plomb).



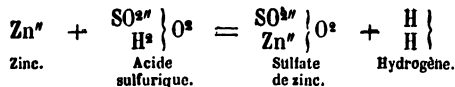
**Hydrate de zinc**  $\left. \begin{matrix} \text{Zn}^n \\ \text{H}^2 \end{matrix} \right\} \text{O}^2$ . Lorsqu'on verse une dissolution alcaline dans la dissolution d'un sel de zinc, il se forme un précipité qui, recueilli sur un filtre et lavé, constitue l'hydrate de zinc.

Cet hydrate perd une molécule d'eau sous l'influence de la chaleur, et laisse un résidu d'oxyde de zinc anhydre.

L'hydrate de zinc fait la double décomposition avec les acides, et donne des sels qui proviennent de la substitution des radicaux de ces acides à son hydrogène typique; c'est même une base assez puissante. Toutefois, en présence des bases énergiques, il peut aussi échanger son hydrogène contre un métal et fournir des zincates; il joue dans ce cas le rôle d'un acide faible.

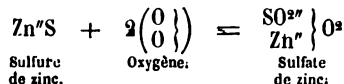


**Sulfate de zinc**  $\left. \begin{matrix} \text{SO}^{2n} \\ \text{Zn}^n \end{matrix} \right\} \text{O}^2$ . Dans les laboratoires, on prépare le sulfate de zinc en faisant dissoudre le zinc métallique dans l'acide sulfurique dilué.



On utilise les résidus de la préparation de l'hydrogène; on n'a qu'à filtrer ces liqueurs et à les faire cristalliser.

Dans l'industrie, on grille modérément la blende naturelle (sulfure de zinc); l'oxygène se fixe sur ce corps, qui passe ainsi à l'état de sulfate. On traite ensuite la masse par l'eau qui dissout le sulfate de zinc; on décante et l'on fait cristalliser.

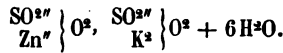


Pour rendre le transport de ce sel plus facile, on le fond dans son eau de cristallisation, et on le coule en pains.

Le sulfate de zinc se dissout dans deux ou trois fois son poids

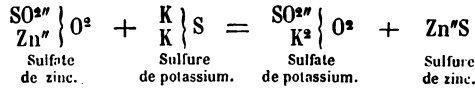
d'eau à la température ordinaire. A cette même température cristallise avec 7 molécules d'eau de cristallisation; il peut cristalliser avec des quantités d'eau différentes, lorsqu'on varie les conditions dans lesquelles la cristallisation s'opère. tous les cas, les cristaux de sulfate de zinc sont isomorphes les cristaux de sulfate de magnésium, qui renferment la même quantité d'eau.

Le sulfate de zinc se combine avec les sulfates alcalins, et donne des sels doubles qui cristallisent avec 6 molécules d'eau. Le sulfate double de zinc et de potassium répond à la formule

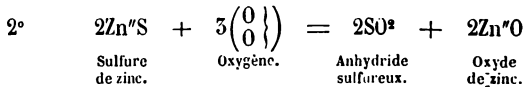
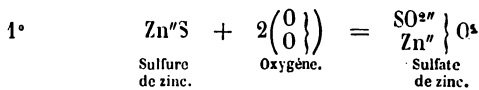


Fortement chauffé, le sulfate de zinc se décompose et laisse un résidu d'oxyde de zinc

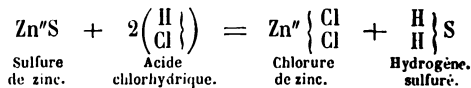
**Sulfure de zinc**  $\text{Zn}^{\text{zn}}\text{S}$ . Ce corps existe dans la nature cristallisé en octaèdres réguliers; il a reçu le nom de blende. On l'obtient artificiellement en précipitant un sel de zinc par les sulfures solubles.



Grillé, le sulfure de zinc se convertit selon la température en sulfate ou bien en anhydride sulfureux et en oxyde.



Le sulfure de zinc se dissout dans les acides avec dégagement d'acide sulfhydrique.



**Carbonate de zinc.** Le carbonate de zinc se rencontre

la nature, il a reçu le nom minéralogique de calamine ; en dehors de la métallurgie du zinc, il n'a pas emploi.

**Réactions des sels de zinc.**— Les sels de zinc se reconnaissent aux caractères suivants :

1° L'acide sulfhydrique précipite du sulfure de zinc blanc dans les solutions neutres des sels, mais la réaction est très-incomplète et la majeure partie du sel n'est pas décomposée, à moins que celui-ci dérive d'un acide faible, comme l'acide acétique, auquel cas la précipitation est complète. Si la solution renferme une petite quantité d'un acide libre (acide chlorhydrique) il ne se produit pas de précipité.

2° Le sulfure d'ammonium y fait naître un précipité blanc de sulfure de zinc, soluble dans l'acide chlorhydrique étendu.

3° La potasse y produit un précipité blanc d'hydrate de zinc soluble dans un excès de réactif.

4° L'ammoniaque se comporte comme la potasse.

5° Les carbonates de potassium et de sodium donnent avec les sels de zinc un précipité blanc de carbonate de zinc, insoluble dans un excès de réactif.

6° Le carbonate d'ammonium agit de la même manière, à cette différence près que le précipité se dissout dans un excès de réactif.

## CADMIUM Cd

Poids atomique = 112    Poids moléculaire = 112

Le cadmium se trouve en petite quantité dans la nature ; il accompagne presque constamment le zinc. Lorsqu'on soumet les minerais zincifères aux opérations métallurgiques, le cadmium distille le premier, parce qu'il est plus volatil que le zinc ; on dissout ces premières parties riches en cadmium, dans l'acide sulfurique bouillant, on étend d'eau et l'on fait passer un courant d'acide sulfhydrique qui précipite le cadmium à l'état de sulfure jaune, tandis que le zinc reste en dissolution. On dissout ce sulfure dans l'acide chlorhydrique bouillant et on précipite la solution de chlorure de cadmium par le carbonate d'ammonium. On lave sur un filtre le précipité de carbonate de cadmium qui se forme, on le calcine et on le chauffe avec du charbon dans une cornue en grès : le cadmium mis en liberté distille.

Le cadmium est blanc, très-ductile et très-malléable; sa densité est de 8,7; il fond au-dessous du rouge et sa vapeur brûle à l'air avec éclat.

Il forme des composés, entièrement analogues à ceux du zinc; on connaît :

Un chlorure. . . . .	$\text{CdCl}^2$
Un bromure . . . . .	$\text{CdBr}^2$
Un iodure . . . . .	$\text{CdI}^2$ , etc.
Un oxyde. . . . .	$\text{CdO}$
Un sulfure. . . . .	$\text{CdS}$
Un hydrate. . . . .	$\text{Cd}^r \begin{cases} \text{OH} \\ \text{OH} \end{cases}$

Le bromure et l'iodure de cadmium sont employés en photographie, et le sulfure qui est d'un jaune très-beau, sert dans la peinture à l'huile.

L'oxyde et l'hydrate de cadmium font la double décomposition avec les acides, et donnent naissance à des sels qui sont isomorphes avec ceux de zinc et de magnésium.

Ces sels jouissent des propriétés suivantes :

1° L'acide sulfhydrique y fait naître un précipité jaune insoluble dans les sulfures alcalins et soluble dans l'acide chlorhydrique concentré. Ce précipité se forme même lorsque le sel de cadmium est mêlé à une solution de cyanure potassique.

2° La potasse et la soude y font naître un précipité blanc d'hydrate de cadmium insoluble dans un excès de réactif.

3° L'ammoniaque donne le même précipité, mais un excès de réactif le dissout.

4° Le carbonate d'ammonium produit un précipité blanc de carbonate de cadmium insoluble dans un excès de réactif.

## CUIVRE Cu

Poids atomique = 63,5    Poids moléculaire probable = 63,5

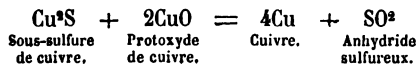
Il existe dans la nature du cuivre natif, mais le principal minéral de ce métal est un sulfure double de cuivre et de fer.

Ce minéral est d'abord soumis à un grillage qui transforme le sulfure de fer en oxyde de fer et anhydride sulfureux. L'oxyde de fer passe dans les scories siliceuses à l'état de silicate fusible.

Le produit de cette première opération se nomme matte.

La matte, soumise à un traitement identique à celui que nous venons de décrire, achève de se dépouiller de fer et donne ce que l'on appelle la matte blanche.

En grillant ensuite la matte blanche, on obtient le cuivre brut ; le sulfure de cuivre se transforme, en effet, en anhydride sulfureux et oxyde de cuivre, et ce dernier oxyde réagit sur le sulfure non encore décomposé, en donnant naissance à du cuivre et à de l'anhydride sulfureux.



En grillant le cuivre brut dans un four siliceux, on détermine la formation d'une certaine quantité d'oxyde qui achève d'éliminer le soufre en même temps que les oxydes des métaux étrangers s'unissent à la silice du four et forment des silicates qui passent dans les scories.

Enfin, pour que le cuivre ne contienne pas d'oxyde, on le fond ; on place du charbon à sa surface et l'on agite la masse avec du bois vert. Les gaz carbonés, qui se dégagent de ce bois sous l'in-

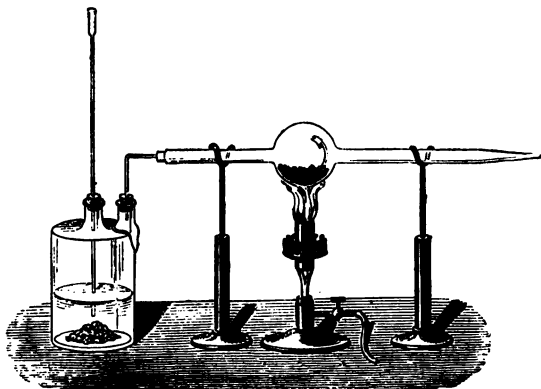
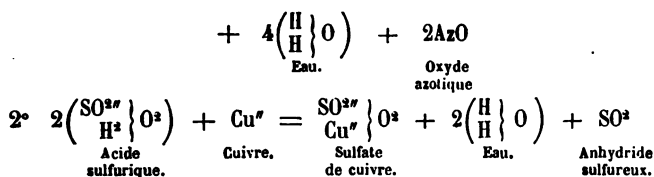


Fig. 36.

fluence de la chaleur, achèvent de réduire l'oxyde de cuivre qui est disséminé dans la masse métallique.

Ces deux dernières opérations prennent le nom d'affinage.





En présence des acides, le cuivre absorbe facilement l'oxygène de l'air; il s'oxyde aussi en présence de l'ammoniaque et se dissout en donnant une liqueur d'un beau bleu.

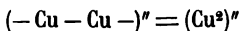
Le cuivre, préalablement chauffé, brûle dans le chlore en donnant naissance à du bichlorure de cuivre. Il se combine directement avec le soufre, le phosphore, l'arsenic, le brome et la plupart des métaux.

Le cuivre forme deux séries de composés. Diatomique, il peut se combiner directement à deux radicaux monatomiques, ou à un radical diatomique comme lui et se saturer ainsi. De là, toute une série de composés qui ont reçu le nom de composés au maximum ou de composés cuivriques. Tels sont :

- Le bichlorure de cuivre . . . . . Cu<sup>n</sup>Cl<sup>2</sup>
- Le bibromure de cuivre . . . . . Cu<sup>n</sup>Br<sup>2</sup>
- Le bifluorure de cuivre . . . . . Cu<sup>n</sup>F<sup>2</sup>
- Le protoxyde de cuivre . . . . . Cu<sup>n</sup>O
- L'hydrate de cuivre au maximum, ou hydrate cuivrique. . . . . Cu<sup>n</sup>(OH)<sup>2</sup>
- Le protosulfure de cuivre . . . . . Cu<sup>n</sup>S

et les divers sels oxygénés au maximum ou sels cuivriques qui résultent de la substitution des radicaux d'acides à l'hydrogène de l'hydrate cuivrique.

En raison de la diatomicité du cuivre, il peut aussi arriver que deux atomes de ce métal s'unissent en n'échangeant entre eux qu'une seule atomicité, et forment le groupe Cu<sup>2</sup> diatomique, comme le montre la formule suivante :



le groupe Cu<sup>2</sup> étant diatomique, peut se combiner tout aussi bien que l'atome Cu avec le chlore, le brome, l'iode, etc., et comme les combinaisons qu'il forme présentent une stabilité suffisante, on a une seconde série de composés de cuivre, connus sous le nom de

composés au minimum ou de composés cuivreux, et dans lesquels, au lieu de l'atome simple  $\text{Cu}^n$ , fonctionne le groupe  $(\text{Cu}^2)$ . Tels sont :

L'hydrure. . . . .	$\text{Cu}^2\text{H}^2$
Le protochlorure. . . . .	$\text{Cu}^2\text{Cl}^2$
Le protobromure. . . . .	$\text{Cu}^2\text{Br}^2$
Le protoiodure. . . . .	$\text{Cu}^2\text{I}^2$
Le protofluorure. . . . .	$\text{Cu}^2\text{F}^2$
Le sous-oxyde. . . . .	$\text{Cu}^2\text{O}$
Le sous-sulfure. . . . .	$\text{Cu}^2\text{S}$

et les protosels fort instables, résultant de la substitution du groupe  $\text{Cu}^2$  diatomique à un nombre pair d'atomes de l'hydrogène typique des acides.

Outre ces deux séries de composés, le cuivre forme encore,

avec l'oxygène, un quadrantoxyle  $\text{Cu}^4\text{O} = \begin{array}{c} \text{Cu}^n - \text{Cu}^n \\ | \quad \quad | \\ \text{Cu}^n - \text{Cu}^n \end{array} > \text{O}^n$  un

oxyde  $\text{Cu}^2\text{O}^2 = \begin{array}{c} \text{Cu}^n - \text{O} \\ | \quad \quad | \\ \text{Cu}^n - \text{O} \end{array} > \text{Cu}^n$ , un bioxyde  $\text{CuO}^2$ .

La diatomicité de l'oxygène explique comment plusieurs atomes de ce corps peuvent s'unir à un seul atome de cuivre : deux atomes d'oxygène peuvent échanger chacun une atomicité avec le cuivre, et une entre eux, comme on le voit à l'aide de la formule développée suivante :

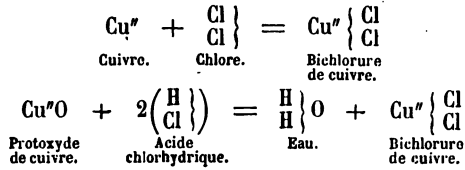


#### COMPOSÉS CUIVRIQUES.

Ceux de ces composés que nous passerons en revue sont : le bichlorure, le protosulfure, le protoxyde, l'hydrate, le sulfate, l'azotate et les carbonates.

**Bichlorure de cuivre**  $\text{Cu}^n \left\{ \begin{array}{l} \text{Cl} \\ \text{Cl} \end{array} \right.$ . Ce composé se forme par l'action directe du chlore sur le cuivre, il prend encore naissance lorsqu'on fait dissoudre le protoxyde de ce métal dans l'acide chlorhydrique.

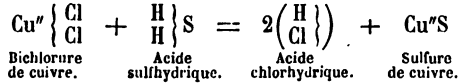




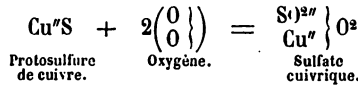
Le bichlorure de cuivre est soluble dans l'eau et dans l'alcool; sa solution aqueuse concentrée à chaud dépose, en se refroidissant, des cristaux hydratés, qui ont pour formule  $\text{Cu}''\text{Cl}^2 + 2\text{H}^2\text{O}$ . Ces cristaux ont la forme de longues aiguilles d'un bleu verdâtre.

La solution alcoolique de ce sel brûle avec une magnifique flamme verte.

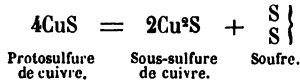
**Protosulfure de cuivre** (*sulfure cuivrique*)  $\text{Cu}''\text{S}$ . Ce corps existe dans la nature et porte les noms de chalcosine et de covelline; on l'obtient artificiellement en faisant passer un courant d'hydrogène sulfuré à travers la dissolution aqueuse d'un sel cuivrique, le bichlorure par exemple :



Il se précipite sous la forme d'une masse noire altérable à l'air, dont il attire l'oxygène pour se convertir en sulfate.



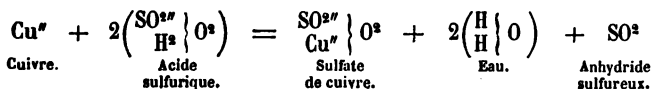
Le protosulfure de cuivre perd la moitié de son soufre lorsqu'on le chauffe, et se transforme en sous-sulfure.



**Protoxyde de cuivre** (*oxyde cuivrique*)  $\text{CuO}$ . On peut obtenir cet oxyde : 1° En chauffant du cuivre à l'air, il se forme à la surface du métal une couche d'oxyde qui se détache facilement ; 2° en calcinant l'azotate de cuivre ; 3° en chauffant l'hydrate cuivrique ; il suffit pour déshydrater ce dernier corps, de le faire bouillir avec de l'eau.

Quel que soit le procédé de préparation que l'on ait employé, et





On utilise à cet effet les résidus de la préparation de l'anhydride sulfureux.

Dans l'industrie, on chauffe à l'air du sulfure de cuivre. Ce corps absorbe l'oxygène de l'air, et se transforme en sulfate, qu'on sépare du minerai non attaqué par lessivage et évaporation.

Le sulfate de cuivre du commerce renferme presque toujours du sulfate ferreux, qu'on ne peut pas séparer par cristallisation, car les deux sels cristallisent ensemble ; le plus sûr moyen d'obtenir ce sel exempt de fer, consiste à le dissoudre dans l'eau, et à précipiter par l'hydrogène sulfuré sa dissolution préalablement acidulée. Le cuivre se précipite seul ; le précipité bien lavé et abandonné au contact simultané de l'air et de l'eau, se transforme en sulfate, qu'on fait cristalliser après avoir filtré la solution. Lorsqu'il s'agit de préparer de grandes quantités de ce sel à l'état de pureté, ce procédé n'est pas assez expéditif ; on chauffe dans ce cas le sel impur avec de l'acide azotique qui convertit le sulfate ferreux en sulfate ferrique incristallisable, qu'on peut alors séparer facilement du sel de cuivre par plusieurs cristallisations dans l'eau ; le sel ferrique reste dans les eaux mères.

Le sulfate de cuivre est connu dans le commerce sous le nom de vitriol bleu ou couperose bleue. C'est un corps insoluble dans l'alcool et soluble dans l'eau : il cristallise de sa solution dans ce dernier liquide, en parallépipèdes obliques bleus. Ces cristaux sont hydratés, et ont pour formule  $\begin{array}{c} \text{SO}^{2n} \\ \text{Cu}^n \end{array} \left\} \text{O}^2 + 5 \text{H}^2\text{O}$ .

Lorsqu'on chauffe à 100° le sulfate de cuivre hydraté, il perd 4 H<sup>2</sup>O ; à 240°, il perd l'eau qu'il contient encore et devient anhydre. Il constitue alors une poudre blanche qui présente l'aspect de la farine. La moindre quantité d'eau lui rendant sa nuance bleue, ce corps devient un réactif précieux pour reconnaître la présence de l'eau.

Les cristaux de sulfate de cuivre sont isomorphes avec ceux de sulfate de magnésium, de zinc ou de cadmium, quand ces derniers renferment comme lui cinq molécules d'eau. Ce sel forme des sulfates doubles avec les sulfates alcalins. Il se combine aux sulfates de magnésium, de zinc, de fer au minimum, etc., en donnant des

cristaux qui renferment cinq molécules d'eau, quand le cuivre y domine, et sept lorsque c'est l'autre métal ; ces cristaux sont toujours isomorphes entre eux, lorsqu'ils renferment la même quantité d'eau.

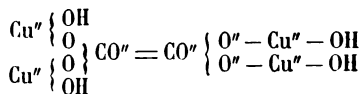
Fortement chauffé, le sulfate cuivrique se décompose en oxygène, anhydride sulfureux et protoxyde de cuivre.

Si on précipite la solution de ce sel par une quantité de base insuffisante, il se produit un sulfate basique insoluble qui est vert.

Lorsqu'on ajoute à une dissolution de sulfate de cuivre assez d'ammoniaque pour dissoudre le précipité qui se forme d'abord, et qu'on verse ensuite de l'alcool dans la liqueur bleue qui s'est produite, on obtient un précipité formé d'aiguilles cristallines d'un beau bleu, qui a reçu le nom de sulfate de cuivre ammoniacal et qui a pour composition  $\left. \begin{array}{l} \text{SO}^{2''} \\ \text{Cu}'' \end{array} \right\} \text{O}^2, 4\text{AzH}^3 + \text{H}^2\text{O}$ .

**Azotate de cuivre**  $\text{Cu}'' \left\{ \begin{array}{l} \text{OAzO}^2 \\ \text{OAzO}^2 \end{array} \right.$ . On prépare l'azotate de cuivre en dissolvant le métal dans l'acide azotique, évaporant la liqueur et laissant refroidir. Le sel se dépose par le refroidissement en gros cristaux hydratés d'une couleur bleue ; lorsqu'on les chauffe, ils fondent d'abord dans leur eau de cristallisation, puis cette eau se vaporise, et l'azotate anhydre se décompose ; il se forme d'abord un azotate basique qui est vert, la décomposition devient ensuite de plus en plus complète, et finalement il reste un résidu d'oxyde cuivrique.

**Carbonates de cuivre.** Le carbonate que l'on obtient en versant du carbonate de sodium dans une solution de sulfate cuivrique est un carbonate dicuivrique et bibasique. Sa formule est :



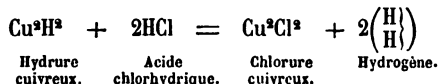
Ce corps a la même composition que le carbonate naturel, connu sous le nom de malachite. La malachite est d'un beau vert : on emploie des blocs compactes de ce corps pour faire des objets de luxe ; là où elle abonde, en Sibérie, par exemple, la malachite est utilisée comme minerai de cuivre. C'est même un excellent minerai.

Il existe, en outre, dans la nature un carbonate hydraté tricuvrique d'un beau bleu, qui est connu sous le nom de bleu de montagne ou d'azurite.

Enfin, le vert-de-gris qui se forme à la surface des objets de cuivre est encore un carbonate de cuivre hydraté ; il ne faut pas confondre ce vert-de-gris avec le vert-de-gris du commerce, qui est un sous-acétate de cuivre.

COMPOSÉS CUIVREUX.

**Hydrure cuivreux**  $\text{Cu}^2\text{H}^2$ . On l'obtient en mélangeant une solution de sulfate de cuivre avec une solution d'acide hypophosphoreux et chauffant légèrement. C'est une poudre brun foncé, qui se décompose déjà vers  $50^\circ$ , en dégageant de l'hydrogène. Sa propriété la plus remarquable est de réagir énergiquement avec l'acide chlorhydrique en donnant du chlorure cuivreux et de l'hydrogène :



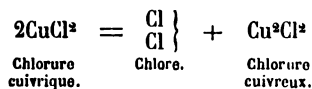
**Protochlorure de cuivre**  $\text{Cu}^2\text{Cl}^2$ . Le moyen le plus simple de préparer ce corps consiste à dissoudre du cuivre métallique dans de l'eau régale contenant très-peu d'acide azotique, ou à chauffer une solution de bichlorure dans l'acide chlorhydrique avec de la tournure de cuivre :



et à ajouter ensuite de l'eau à la solution ; le protochlorure de cuivre se précipite sous forme d'une poudre cristalline blanche.

On peut également préparer ce composé en dissolvant le sous-oxyle de cuivre dans l'acide chlorhydrique bouillant et laissant refroidir la liqueur, au sein de laquelle se déposent alors de petits tétraèdres incolores de protochlorure de cuivre.

Enfin, on l'obtient encore en chauffant du perchlorure de cuivre qui perd la moitié de son chlore.



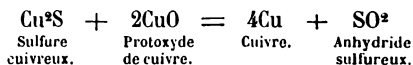
Le chlorure cuivreux est un corps blanc extrêmement peu soluble dans l'eau, mais soluble dans l'acide chlorhydrique et l'ammo-

niaque ; il verdit à l'air en absorbant de l'oxygène et en se transformant en oxychlorure  $\text{Cu}^2\text{Cl}^2\text{O}$ . Il absorbe aussi l'oxyde de carbone, mais il abandonne ce gaz, lorsqu'on fait bouillir sa solution. Le chlorure cuivreux en solution ammoniacale donne, avec certains carbures d'hydrogène gazeux de la série  $\text{C}^n\text{H}^{2n-2}$ , des précipités explosibles qui, chauffés avec de l'acide chlorhydrique, dégagent l'hydrocarbure dont ils renferment les éléments. Cette propriété a été utilisée en chimie organique.

**Sulfure cuivreux** (*sous-sulfure de cuivre*)  $\text{Cu}^2\text{S}$ . Le sulfure cuivreux se rencontre dans la nature sous forme de beaux cristaux, appartenant au système cubique. Leur couleur est noire, et leur éclat faiblement métallique ; ils sont assez mous pour être coupés au couteau, et fondent à la flamme d'une bougie. Leur densité est 5,0.

On prépare artificiellement ce corps, en calcinant du cuivre avec un excès de soufre ; l'excès de soufre s'évapore durant la calcination. Pour qu'il ne reste pas de cuivre inattaqué, on broie le produit de cette première opération, et on le calcine une seconde fois avec du soufre.

Lorsqu'on le chauffe à l'air, il s'oxyde et donne du sulfate de cuivre, si la température n'est pas trop élevée : sinon, il se transforme en oxyde cuivrique et anhydride sulfureux. Chauffé avec de l'oxyde de cuivre, ce sulfure donne lieu à un dégagement d'anhydride sulfureux, et laisse un résidu de cuivre métallique.



**Oxyde cuivreux** (*sous-oxyde de cuivre*)  $\text{Cu}^2\text{O}$ . Ce corps existe dans la nature. On l'y rencontre quelquefois en masses compactes. d'autres fois en cristaux octaédriques réguliers de couleur rouge ; on peut l'obtenir artificiellement sous la forme d'une poudre rouge, et cela de diverses manières.

Si l'on fait bouillir de l'acétate de cuivre avec de la glucose, on voit se précipiter une poudre rouge cristalline, qui n'est autre que de l'oxyde cuivreux ou sous-oxyde de cuivre.

Dans les arts, on préfère préparer ce corps en calcinant un mélange de :

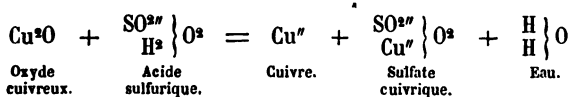
Sulfate de cuivre . . . . .	100 p.
Carbonate de sodium sec . . .	28 p.
Cuivre en limaille . . . . .	25 p.

Il faut soumettre le produit de cette opération à de longs lavages.

Le sous-oxyde de cuivre fond sans altération lorsqu'on le chauffe à l'abri de l'air; chauffé à l'air, il se transforme en protoxyde.

L'acide chlorhydrique fait la double décomposition avec lui, et le convertit en protochlorure; cet oxyde est donc un anhydride basique.

L'acide azotique lui abandonne de l'oxygène, et le fait passer à l'état d'azotate cuivrique; les acides forts le décomposent en cuivre métallique et bioxyde de cuivre qui, au contact de ces acides, donne un sel cuivrique.



L'ammoniaque dissout cet oxyde sans se colorer, mais la dissolution bleuit en absorbant de l'oxygène dès qu'elle est exposée à l'air.

**Caractères distinctifs des sels de cuivre.** Les sels de cuivre se reconnaissent dans les analyses aux propriétés suivantes :

1° Une lame de fer se recouvre d'une couche de cuivre parfaitement adhérente et d'un beau rouge, lorsqu'on la plonge dans les solutions salines de ce métal;

2° L'acide sulfhydrique fait naître dans ces solutions un précipité noir insoluble dans les sulfures alcalins; ce précipité ne se produit pas en présence du cyanure de potassium.

On peut ensuite distinguer les sels cuivriques des sels cuivreux :

1° La potasse donne avec les sels cuivreux un précipité jaune insoluble dans un excès de réactif; les sels cuivriques sont précipités par le même réactif en bleu sale, et le précipité devient noir par l'ébullition, pourvu que la potasse ait été ajoutée en quantité suffisante pour décomposer en totalité le sel cuivrique.

2° L'ammoniaque produit dans les sels au maximum et au minimum un précipité soluble dans un excès de réactif; seulement, avec les sels au maximum, la solution ammoniacale est d'un beau bleu, tandis qu'avec les sels au minimum cette solution est incolore et ne bleuit qu'au contact de l'air.

Tous les sels de cuivre sont vénéneux; le meilleur moyen de combattre l'empoisonnement par les préparations cuivriques con-

siste à administrer quelques blancs d'œufs et à donner ensuite un vomitif. L'albumine de l'œuf forme avec le cuivre un composé peu soluble et l'on parvient ainsi à empêcher l'absorption de ce métal pendant le temps qu'exige l'émétique pour déterminer le vomissement.

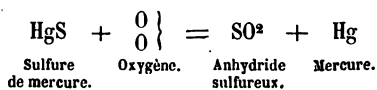
On a proposé de substituer à l'albumine, du fer en limaille, qui précipite le cuivre à l'état métallique, ou du sulfure de fer qui donne naissance à du sulfure de cuivre.

Le cuivre entre dans plusieurs alliages usuels. Uni au zinc, il constitue le laiton ; uni à l'étain, il constitue le bronze. Enfin, nous avons vu que l'argent des monnaies et l'argent employé dans la joaillerie est allié au cuivre.

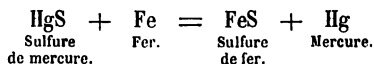
### MERCURE Hg

Poids atomique = 200      Poids moléculaire = 200

Le mercure se rencontre à l'état natif, mais en trop petite quantité pour être exploité. C'est surtout du sulfure de mercure ou cinabre que l'on extrait ce métal. Les principales mines en exploitation sont à Almaden, en Espagne, et à Iddria, en Illyrie. Bien que les procédés métallurgiques employés varient un peu avec les lieux relativement à la disposition des appareils, ils se réduisent chimiquement à un seul, qui consiste à griller le minerai. Le soufre passe à l'état d'anhydride sulfureux et le mercure devient libre.



On peut aussi déplacer le mercure de son sulfure en chauffant ce dernier avec du fer.



Le mercure obtenu par l'une ou l'autre de ces méthodes est filtré à travers des peaux de chamois et enfermé dans des bouteilles de fer.

Si l'on veut avoir le métal pur, il faut le traiter par une quan-



tité d'acide azotique insuffisante pour le dissoudre et abandonner le tout pendant 24 heures, en agitant de temps en temps ; il se forme d'abord de l'azotate de mercure, et les métaux étrangers se substituent ensuite au mercure de cet azotate. Après 24 heures tous ces métaux sont entrés en solution et la partie de mercure non attaquée reste à l'état de pureté.

Le mercure est liquide à la température ordinaire ; il se solidifie à  $-40^{\circ}$  et bout à  $350^{\circ}$  du thermomètre à air.

A l'état solide, ce métal est d'un blanc d'argent, il est malléable et cristallise en octaèdres, sa densité est de 14,4 ; à l'état liquide sa densité est de 13,595 et sa densité de vapeur est de 6,976.

Le mercure pur n'adhère pas aux vases de verre ou de porcelaine. Lorsqu'il est allié à du plomb ou à d'autres métaux, il adhère au contraire aux vases et prend la forme de gouttelettes allongées ; on dit alors qu'il fait la queue.

A l'air, le mercure ne s'oxyde qu'à une température voisine de  $350^{\circ}$ . L'oxydation se fait aussi très-bien à froid en présence de l'oxygène ozonisé.

Le mercure n'est pas attaqué par l'acide chlorhydrique. L'acide azotique le dissout rapidement. A froid et en présence d'un excès de métal, il se forme de l'azotate mercurieux, ou azotate de mercure au minimum ; à chaud et lorsqu'on emploie un excès d'acide, il se produit de l'azotate mercurique ou au maximum. L'acide sulfurique bouillant dissout le mercure en dégageant de l'anhydride sulfureux. Selon que le métal ou l'acide domine, le sulfate qui prend naissance est au minimum ou au maximum.

En présence de l'air et des acides, les chlorures alcalins font passer le mercure à l'état de chlorure. C'est par cette réaction que l'on peut expliquer l'absorption de ce métal par la peau.

Le chlore, le brome et l'iode se combinent directement au mercure à froid. Le soufre peut aussi entrer directement en combinaison avec ce métal.

Les composés mercuriels absorbables agissent comme des poisons sur l'économie animale. Les ouvriers qui respirent des vapeurs mercurielles finissent généralement par être atteints d'un tremblement connu sous le nom de tremblement mercuriel.

La médecine a su tirer du mercure un parti avantageux ; les composés mercuriels sont employés avec succès contre la syphilis, contre les *inflammations membraneuses*, etc., etc.

Le mercure comme le cuivre est diatomique, et comme ceux du cuivre, ses atomes ont la propriété de se combiner à eux-mêmes en perdant une partie seulement de leur capacité de saturation. Il en résulte que non-seulement l'atome Hg, mais encore le groupe Hg<sup>2</sup> fait fonction de radical diatomique et peut entrer en combinaison avec les divers radicaux.

Les composés dans lesquels entre l'atome Hg<sup>n</sup> portent le nom de composés mercuriques ou au maximum, et ceux dans lesquels entre le groupe (Hg<sup>2</sup>)<sup>n</sup> prennent celui de composés mercureux ou au minimum.

Les principaux composés mercuriques sont :

Le bichlorure de mercure . . . . .	HgCl <sup>2</sup>
Le bibromure . . . . .	HgBr <sup>2</sup>
Le biiodure . . . . .	HgI <sup>2</sup>
Le bifluorure . . . . .	HgFl <sup>2</sup>
Le protoxyde . . . . .	HgO
Le protosulfure . . . . .	HgS

et les sels mercuriques résultant du remplacement de l'hydrogène basique des acides par l'atome diatomique Hg.

Les principaux composés mercureux sont :

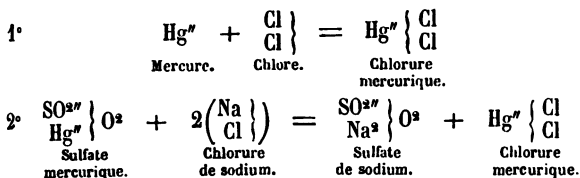
Le protochlorure de mercure . . . . .	Hg <sup>2</sup> Cl
Le protobromure . . . . .	Hg <sup>2</sup> Br
Le protoiodure . . . . .	Hg <sup>2</sup> I
Le sous-oxyde ou oxydule . . . . .	Hg <sup>2</sup> O
Le sous-sulfure . . . . .	Hg <sup>2</sup> S

et les sels mercureux qui résultent de la substitution du radical diatomique Hg<sup>2</sup> à l'hydrogène typique des acides.

Les composés mercureux présentent la plus grande analogie avec les composés cuivreux; ils sont isomorphes avec eux.

#### COMPOSÉS MERCURIQUES (COMPOSÉS AU MAXIMUM).

**Chlorure mercurique** Hg<sup>n</sup>  $\left\{ \begin{matrix} \text{Cl} \\ \text{Cl} \end{matrix} \right.$ . Le bichlorure de mercure a reçu le nom de sublimé corrosif; il peut être obtenu, soit par l'action du chlore sur le mercure, soit par la distillation d'un mélange de sel marin et de sulfate mercurique.

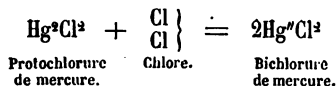


Cette distillation s'opère dans un grand ballon chauffé au bain de sable (*fig. 37*); le bichlorure se sublime sur la partie supérieure froide de ce vase.

Comme presque toujours le sulfate mercurique renferme un peu de sulfate mercurieux qui donnerait du protochlorure  $\text{Hg}^{\text{I}}\text{Cl}_2$ , en réagissant sur le chlorure sodique, lorsqu'on opère par cette seconde méthode, on ajoute un peu de bioxyde de manganèse au mélange. Au contact du chlorure de sodium et de l'excès d'acide que le sulfate mercurique renferme toujours, ce bioxyde donne lieu à un léger dégagement de chlore, lequel fait passer à l'état de bichlorure la faible quantité de protochlorure qui prend naissance.



Fig. 37.



Le bichlorure de mercure se dissout en plus forte proportion dans l'eau bouillante que dans l'eau froide. L'alcool le dissout mieux que l'eau, et l'éther mieux que l'alcool; sa solution alcoolique l'abandonne, par l'évaporation, cristallisé en prismes droits à base rhombe; par sublimation, il cristallise en octaèdres à base rectangle, sa densité est de 6,5, son point de fusion est situé à 265°, et son point d'ébullition à 295°; sa densité de vapeur est de 9,42.

En faisant agir sur une dissolution de sublimé un corps réducteur comme le protochlorure d'étain, on obtient un précipité blanc de protochlorure de mercure; si l'on fait bouillir le mélange, le protochlorure se réduit lui-même à l'état de mercure métallique.

Lorsqu'on verse une solution de sublimé dans l'ammoniaque, il se forme un précipité blanc qui a reçu le nom de chloro-amidure de mercure, et qui a pour formule :  $\left. \begin{matrix} \text{Hg}'' \\ \text{H}^2 \end{matrix} \right\} \text{Az, Cl.}$

Si, au contraire, on verse l'ammoniaque dans la solution de sublimé, il se précipite un corps également blanc, qui a pour formule  $\left. \begin{matrix} (\text{HgCl})' \\ (\text{HgCl})' \\ \text{H}^2 \end{matrix} \right\} \text{Az, Cl.}$

L'albumine donne avec le sublimé un précipité insoluble, dont la composition est mal connue.

Le sublimé a une grande tendance à former des chlorures doubles avec les chlorures alcalins. Ces sels ont pour formule  $\left. \begin{matrix} \text{Hg}'' \\ \text{Cl}^2 \end{matrix} \right\}, 2 \left( \begin{matrix} \text{M} \\ \text{Cl} \end{matrix} \right)$ .

Le sublimé est un poison violent ; le meilleur contre-poison consiste à administrer d'abord un ou deux verres d'eau albumineuse, et un vomitif ensuite. L'eau albumineuse en rendant le sublimé insoluble, arrête toute absorption, et permet d'attendre l'action du vomitif.

L'action du sublimé corrosif sur l'albumine a permis d'utiliser ce sel pour la conservation des matières animales.

Le sublimé corrosif est un des composés qui servent de base aux préparations pharmaceutiques mercurielles.

**Bromure mercurique**  $\text{Hg}'' \left\{ \begin{matrix} \text{Br} \\ \text{Br} \end{matrix} \right.$ . Le bromure mercurique se prépare par les mêmes méthodes que le chlorure, et jouit de propriétés analogues.

**Biiodure de mercure**  $\text{Hg}'' \left\{ \begin{matrix} \text{I} \\ \text{I} \end{matrix} \right.$ . Ce corps peut être préparé directement ou par double décomposition. Directement, on broie 200 parties de mercure avec 254 parties d'iode dans un mortier : pour rendre l'opération plus facile, on ajoute un peu d'alcool, et l'on continue le broiement jusqu'à ce que la masse ait une belle couleur rouge, et que, vue à la loupe, elle ne présente plus aucun globule de mercure métallique.

Par double décomposition, on verse une solution aqueuse de 352 parties d'iodure potassique dans une solution également aqueuse de 271 parties de sublimé corrosif ; il se forme un beau précipité rouge orangé de biiodure de mercure.

mercure à l'air, soit en calcinant légèrement de l'azotate de mercure au maximum ou au minimum ; l'oxyde obtenu à l'aide de l'azotate mercurique, est plus rouge que celui qui provient de la calcination de l'azotate mercurieux.

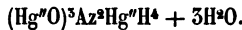
Le procédé qui consiste à chauffer du mercure au contact de l'air n'est plus employé aujourd'hui. On lui doit le nom de *précipité per se*, que porte encore le bioxyde de mercure dans les pharmacies.

L'oxyde mercurique se décompose à 400°, de sorte qu'entre la température à laquelle le métal s'oxyde, et celle où l'oxyde se réduit, il n'y a guère plus de 50° de différence.

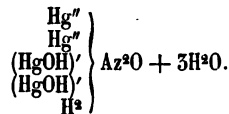
Une partie de cet oxyde paraît se dissoudre dans 20 à 30 milles parties d'eau, la liqueur n'agit pas sur le tournesol ; mais si on l'additionne de sel marin, il se forme du chlorure de mercure et de l'hydrate de sodium, et la réaction alcaline se manifeste avec intensité.

La lumière bleue paraît réduire le bioxyde de mercure, mais la lumière blanche ne l'altère pas.

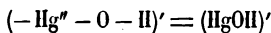
L'oxyde jaune abandonné dans un flacon avec de l'ammoniaque se combine aux éléments de ce corps sans changer de couleur ; le produit ainsi formé est une base puissante qui se combine aux acides en formant des sels bien définis. Ces sels ont reçu le nom de sels ammonio-mercuriques. La base répond à la formule



en admettant que l'eau qu'elle renferme soit de l'eau de cristallisation, on peut représenter l'oxyde ammonio-mercurique par la formule suivante :

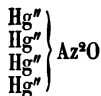


Ce serait l'oxyde d'un diammonium dans lequel 2 atomes de mercure diatomique tiendraient la place de H<sup>4</sup>, et dans lequel 2H serait remplacés par deux fois le résidu monatomique (Hg<sup>II</sup>OH).



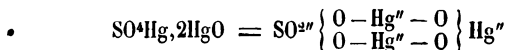
En faisant agir le gaz ammoniac sous pression et à basse température sur l'oxyde mercurique et chauffant finalement vers 80°, on

obtient une poudre brune formé par l'oxyde de tétramercuriammonium anhydre :



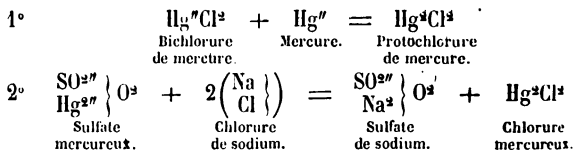
**Azotate mercurique**  $\text{Hg}^{\text{m}} \left\{ \begin{array}{l} \text{OAzO}^{\text{a}} \\ \text{OAZO}^{\text{a}} \end{array} \right.$ . Lorsqu'on dissout du mercure dans un excès d'acide azotique bouillant et qu'on abandonne la liqueur concentrée à l'évaporation spontanée dans le vide de la machine pneumatique, il se forme des cristaux d'azotate basique de mercure au maximum, et la liqueur retient en dissolution de l'azotate neutre de mercure incristallisable; l'eau précipite de cette liqueur un autre azotate plus basique.

**Sulfate mercurique**  $\text{Hg}^{\text{m}} \left\{ \begin{array}{l} \text{SO}^{\text{a}} \\ \text{Hg}^{\text{m}} \end{array} \right\} \text{O}^{\text{a}}$ . Ce sel se prépare en faisant agir un excès d'acide sulfurique bouillant sur le mercure métallique. Le sel se dépose sous la forme d'une poudre cristalline ou en petites aiguilles. L'eau le décompose avec formation d'un sel basique connu sous le nom de turbith minéral. Cette dernière substance bouillie longtemps avec de l'eau, perd les éléments de l'anhydride sulfurique, et laisse un résidu de bioxyde de mercure. Le turbith minéral a pour formule :



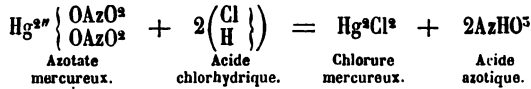
#### COMPOSÉS MERCUREUX.

**Protochlorure de mercure (calomel, calomelas, etc.)**  
 $\text{Hg}^{\text{a}}\text{Cl}^{\text{a}} = \text{Cl} - \text{Hg}^{\text{m}} - \text{Hg}^{\text{m}} - \text{Cl}$ . Le protochlorure de mercure peut être obtenu, soit en broyant le bichlorure avec du mercure, soit en distillant le sulfate mercurieux avec du chlorure de sodium.



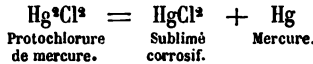
On peut encore préparer ce sel en précipitant un sel mercurieux

soluble par l'acide chlorhydrique, ou par un chlorure en solution dans l'eau.



Le chlorure précipité a reçu en pharmacie le nom de précipité blanc; c'est le plus actif. Celui qui a été préparé par l'un des deux autres procédés se nomme calomel. Lorsqu'on le distille et qu'on reçoit sa vapeur dans un appareil plein d'air, ce fluide s'interpose entre les molécules, au moment de la solidification, et il se précipite une poudre que l'on appelle calomel à la vapeur, parce qu'autrefois on substituait la vapeur d'eau à l'air, dans cette opération. Le calomel à la vapeur est moins actif que le précipité blanc; mais il est plus actif que celui qu'on obtient en sublimant le protochlorure sous forme de masses solides que l'on porphyrise ensuite. Le chlorure mercureux exerce sur l'économie une action purgative; donné à doses très-faibles et très-souvent répétées, il amène la salivation mercurielle.

Le chloruré mercureux cristallise par sublimation en prismes à base carrée, terminés par un pointement octaédrique. Le protochlorure de mercure est blanc; à la lumière, il se décompose en mercure et en sublimé.



Une décomposition semblable s'opère lorsqu'on le vaporise, le calomel est en effet un de ces corps dont la densité de vapeur semble faire exception à la loi d'Ampère, cette densité étant moitié moindre que ce qu'elle devrait être. Cette anomalie s'explique comme pour le chlorure ammonique, en admettant qu'il y a dissociation.

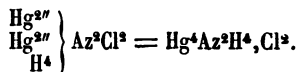
Le calomel est insoluble dans l'eau, l'alcool et l'éther.

L'acide azotique et l'acide chlorhydrique l'attaquent. Avec le premier de ces acides, il se convertit en un mélange de bichlorure et de nitrate mercuriques; avec le second, il donne du bichlorure et du mercure métallique.

Chauffé avec des chlorures alcalins, le calomel se transforme en sublimé corrosif. Cette action peut même se produire à 38°-40°, si l'on fait intervenir des matières organiques, surtout en présence

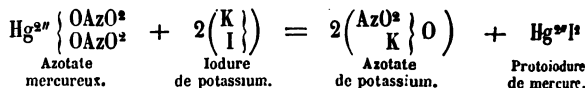
des acides et de l'oxygène de l'air. Ce fait est d'une grande importance : l'estomac renfermant toujours des acides, de l'air et des matières organiques, il faut éviter de donner des chlorures alcalins en même temps que du calomel, sans cela, on risquerait de produire du sublimé dans l'estomac, et l'on pourrait empoisonner le malade.

En contact avec l'ammoniaque, le calomel se transforme en une substance noire qui répond à la formule :



**Protobromure de mercure**  $\text{Hg}^{2''}\text{Br}^2$ . Ce sel se prépare comme le protochlorure, et jouit de propriétés analogues, il est sans emploi.

**Protoiodure de mercure**  $\text{Hg}^{2''}\text{I}^2$ . On peut obtenir ce corps en précipitant de l'azotate mercureux par de l'iodure de potassium.



Toutefois, comme l'azotate mercureux est toujours acide, de l'iode est mis en liberté pendant la réaction, et cet iode fait passer une portion du protoiodure à l'état de biiodure.

Aussi, pour avoir le protoiodure pur est-il préférable de broyer ensemble sous l'alcool 200 parties de mercure avec 127 parties d'iode.

Le protoiodure de mercure est d'un jaune verdâtre. Lorsqu'on le chauffe brusquement, il se volatilise sans se décomposer; chauffé lentement, au contraire, il abandonne la moitié de son métal et passe à l'état de biiodure.

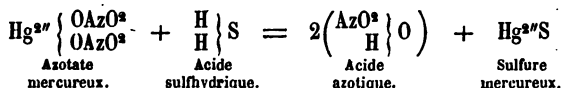
Le protoiodure de mercure est insoluble dans l'eau, l'alcool et l'éther; chauffé avec les iodures alcalins, il donne du mercure en même temps qu'il se forme du biiodure et consécutivement un iodure double.

Le protoiodure de mercure est aujourd'hui le composé mercuriel qui sert de base au plus grand nombre des préparations pharmaceutiques de mercure destinées à l'usage interne.

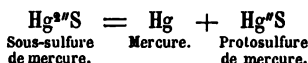
**Sous-sulfure de mercure**  $\text{Hg}^2\text{S}$ . Ce corps est très-instable, il



se forme lorsqu'on précipite un sel mercurieux soluble par l'acide sulfhydrique.

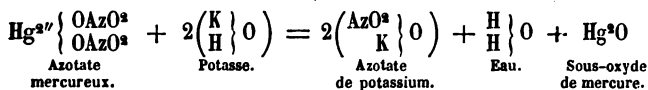


Mais il se décompose presque aussitôt en mercure métallique et en protosulfure.

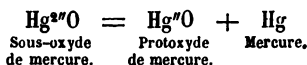


Le sous-sulfure de mercure possède la couleur noire.

**Sous-oxyde de mercure**  $\text{Hg}^{2''} \text{O}$ . Ce sous-oxyde est une poudre noire que l'on obtient en précipitant l'azotate mercurieux par la potasse :

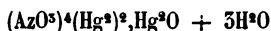


Il est aussi instable que le sous-sulfure, et se décompose avec facilité en mercure et protoxyde.



**Azotate mercurieux**  $\left( \text{AzO}^{\text{a}} \right)_2 \left\{ \begin{array}{l} \text{AzO}^{\text{a}} \\ \text{Hg}^{2''} \end{array} \right\} \text{O}^{\text{a}}$ . On prépare ce corps en abandonnant à froid du mercure dans un excès d'acide azotique étendu. Au bout de peu de temps, il se dépose de beaux cristaux qui dérivent d'un prisme rhomboïdal oblique. Ce sel se dissout dans une faible quantité d'eau ; si l'eau est en excès, il se précipite un sel basique et une partie du sel neutre reste dissoute à la faveur de l'acide azotique devenu libre.

Si l'on abandonne à froid de l'acide azotique étendu avec un grand excès de mercure, il se forme un sel basique qui se présente en gros cristaux incolores ; la formule de ce sel est :



**Sulfate mercurieux**  $\text{SO}^{2''} \left\{ \begin{array}{l} \text{SO}^{2''} \\ \text{Hg}^{2''} \end{array} \right\} \text{O}^{\text{a}}$ . Ce sel ne sert que pour la préparation du calomel ; pour l'obtenir, on convertit 8 parties de mer-

cure en sulfate mercurique que l'on broie ensuite avec une quantité de métal égale à celle employée déjà.

**Réactions analytiques des sels mercuriels.** Ces sels se reconnaissent dans les analyses aux caractères suivants :

1° Ils donnent avec l'acide sulfhydrique un précipité noir, insoluble dans le sulfure d'ammonium et dans l'acide azotique bouillant.

2° Une lame de cuivre y détermine un dépôt de mercure avec lequel elle s'amalgame en prenant la couleur blanche. On lui rend sa couleur première en la chauffant pour vaporiser le mercure. Si l'on opère de manière à condenser les vapeurs, on peut même recueillir du mercure sous forme de gouttelettes.

Les caractères que nous allons énumérer distinguent en outre les sels mercuriques des sels mercureux.

1° Les alcalis caustiques font naître dans la solution des sels au minimum, un précipité noir de sous-oxyde de mercure qui se décompose bientôt en mercure et protoxyde de ce métal. Les sels au maximum donnent, au contraire, avec les alcalis, un précipité jaune de protoxyde stable à la température ordinaire.

2° Les chlorures solubles et l'acide chlorhydrique déterminent la formation d'un précipité blanc de protochlorure de mercure dans la solution des sels mercureux, et ne troublent pas celle des sels mercuriques.

3° Les iodures solubles donnent avec les sels au minimum un précipité jaune verdâtre de protoiodure qu'un excès de réactif décompose en mercure qui se précipite et en biiodure de mercure qui se dissout; avec les sels au maximum, au contraire, les iodures produisent un précipité rouge orangé soluble dans un excès de sel mercuriel ou d'iodure alcalin.

#### GÉNÉRALITÉS SUR LA FAMILLE DES MÉTAUX DIATOMIQUES.

La diatomicité des métaux dont nous venons de parler ne devient manifeste que si l'on admet les poids atomiques que nous leur avons assignés. Si l'on conserve, au contraire, les poids atomiques anciens, la diatomicité de ces métaux disparaît; dès lors

il devient d'une grande importance que nos poids atomiques actuels soient établis sur des bases solides.

Ces poids atomiques reposent sur toutes les grandes lois que nous avons exposées ailleurs. Toutes les méthodes donnent des résultats concordants, qui se corroborent les uns les autres.

1° Ces poids atomiques se déduisent tous de la loi de Dulong et Petit sur les chaleurs spécifiques, et cela sans exception aucune.

2° Le mercure forme avec un radical organique, l'éthyle, un composé qui contient évidemment deux molécules d'éthyle, puisqu'on peut y remplacer la moitié et jamais moins de la moitié de ce radical par du chlore, du brome ou de l'iode.

De plus, si, après avoir substitué le chlore, le brome ou l'iode à une première molécule d'éthyle, on substitue un second atome de ces corps simples à une seconde molécule de ce radical composé, on obtient du chlorure, bromure ou iodure de mercure, dans lesquels on se trouve ainsi conduit à admettre deux atomes de chlore, de brome ou d'iode. Cette conclusion est d'ailleurs confirmée par la densité de vapeur du bichlorure de mercure et par le poids moléculaire que l'on en déduit pour ce composé.

Or le bichlorure de mercure donne lieu à de doubles décompositions très-nettes dans lesquelles il se produit d'autres composés mercuriels du même degré, tels que le protoxyde et les sels au maximum. Dans tous ces composés, c'est toujours la même quantité de mercure qui entre en réaction.

On peut aussi, il est vrai, transformer le bichlorure de mercure en protochlorure. Mais, dans cette transformation, on obtient un corps dans lequel fonctionne la quantité double de mercure.

Il résulte de toutes ces considérations que la plus petite quantité de mercure qui puisse se transporter d'une combinaison dans une autre par voie de double décomposition est égale à 200, ou en d'autres termes, que 200 est le poids atomique du mercure.

3° Le cuivre forme deux degrés de combinaison qui présentent les plus étroites relations avec les composés mercuriels du même ordre. On en conclut que ces composés ont la même formule que ceux du mercure. Dès lors le bichlorure de cuivre doit s'écrire  $\text{CuCl}_2$ , et l'on déduit de cette formule le poids atomique 63,5 pour le cuivre.

4° Le sulfate de cuivre est susceptible de former des sulfates doubles avec les sulfates alcalins. Ces sulfates doubles sont iso-

morphes avec les sels de même nature à base de cadmium, de zinc, de magnésium, de strontium, de baryum et probablement de calcium, bien que jusqu'ici la détermination expérimentale manque pour ce dernier métal; tous ces sels cristallisent avec 6 molécules d'eau.

Les métaux précédents sont encore isomorphes avec d'autres sels, tels que les sulfates simples qui cristallisent tantôt avec 7, tantôt avec 5 molécules d'eau et qui présentent les mêmes formes lorsqu'ils renferment la même quantité d'eau.

Enfin, pour plusieurs d'entre eux on observe l'isomorphisme entre les carbonates, les chlorates, les bromates, les tungstates, etc.

De l'isomorphisme qui existe entre les composés des divers métaux que nous avons cités, il faut conclure, d'après la loi de Mitscherlich, que ces composés doivent être représentés par des formules semblables, d'où l'on déduit pour ces métaux les poids atomiques que nous avons adoptés et qui sont d'accord avec leur capacité calorifique. Ainsi, considérations tirées des densités de vapeur, considérations tirées de la loi de Dulong et Petit, considérations tirées de la loi de Mitscherlich, considérations basées sur les ressemblances chimiques, tout s'accorde à nous faire considérer comme étant l'expression de la vérité les nouveaux poids atomiques et par cela même la diatomicité des métaux que nous venons de passer en revue.

A cause de l'isomorphisme des composés du magnésium avec ceux du cuivre, du cadmium, du zinc, du calcium, du baryum et du strontium, on a donné à l'ensemble de ces métaux le nom de série magnésienne. A cette série on ajoute généralement certains métaux tétratomiques, tels que le manganèse, le fer, le nickel et le cobalt. Ces corps forment, en effet, des composés au minimum non saturés, qui sont représentés par les mêmes formules que ceux des métaux précédemment cités et sont isomorphes avec eux. Toutefois, ces quatre métaux s'éloignant complètement des autres par leurs combinaisons au maximum ont dû être placés dans une famille différente; leur isomorphisme avec les vrais métaux magnésiens n'en reste pas moins favorable aux formules par lesquelles on représente aujourd'hui leurs composés au minimum et par suite aux poids atomiques que l'on en déduit.

## TROISIÈME FAMILLE (MÉTAUX TRIATOMIQUES).

Cette famille renferme l'or, le thallium et l'indium.

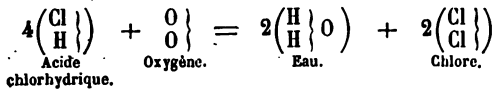


Poids atomique = 197. Poids moléculaire probable = 394

L'or se rencontre à l'état natif. On le trouve tantôt régulièrement cristallisé en cubes ou en octaèdres, tantôt en masses isolées qui ont reçu le nom de pépites, quelquefois il est pur, mais le plus souvent il est allié à l'argent, au platine, au rhodium, etc.

On fait agir le mercure métallique sur le minerai et l'on dissout ainsi l'or et l'argent ; en distillant ensuite l'amalgamé, on obtient un alliage de ces deux derniers métaux.

Enfin cet alliage, chauffé pendant 24 ou 30 heures avec un ciment composé de sel marin et de brique pilée perd la presque totalité de son argent. Ce corps passe à l'état de chlorure d'où on l'extrait par les procédés dont nous avons parlé. Il est probable que dans cette opération la silice agit sur le sel marin en même temps que la vapeur d'eau et qu'il se produit de l'acide chlorhydrique. Cet acide, en présence de l'oxyde ferrique de la brique est décomposé à chaud par l'oxygène de l'air avec mise en liberté de chlore :



en vertu d'une réaction tout à fait analogue à celle trouvée par M. Deacon, pour la préparation industrielle du chlore, et qui est basée sur la décomposition de l'acide chlorhydrique par l'oxygène de l'air sous l'influence de l'oxyde de cuivre chauffé. Le chlore libre transforme alors l'argent en chlorure tandis qu'à chaud il est sans action sur l'or.

La séparation de l'or et de l'argent peut aussi s'effectuer par voie humide, par l'action des acides azotique ou sulfurique, qui font passer l'argent à l'état d'azotate ou de sulfate, tandis qu'ils

n'attaquent pas l'or. Il est à remarquer que l'alliage doit être riche en argent, pour qu'on puisse employer l'acide azotique.

Si l'on veut avoir de l'or absolument pur, le mieux est d'en préparer le chlorure en dissolvant ce métal dans l'eau régale, et de verser dans la solution de ce sel une solution de sulfate de fer au minimum et un peu d'acide chlorhydrique; de l'or très-pur se précipite sous la forme d'une poussière brune que l'on peut agréger par la fusion.

L'or est jaune ou plutôt rouge lorsqu'on fait réfléchir plusieurs fois la lumière à sa surface avant de la faire arriver à l'œil; vu par transmission, il présente une teinte verte.

L'eau régale le dissout aisément à chaud. L'acide sélénique l'attaque aussi; aucun autre acide n'a d'action sur lui.

L'or fond à 1100° environ, il est le plus malléable et le plus ductile des métaux; sa ténacité est moindre que celle du fer, du cuivre, du platine et de l'argent. Il s'écroutit avec facilité.

L'or est rapidement attaqué, même à froid, par le chlore et le brome.

La densité de l'or est de 19,5. Ce métal est mou; pour pouvoir le travailler commodément, on est dans l'usage de l'allier, soit à l'argent, soit au cuivre.

L'or étant triatomique peut s'unir soit à trois atomes monatomiques, en formant un composé saturé, soit à un seul de ces atomes en donnant un composé non saturé. On connaît :

Le protochlorure d'or. . . . .	AuCl
Le protoiodure d'or. . . . .	AuI
Le perchlorure d'or. . . . .	Au <sup>'''</sup> Cl <sup>5</sup>
Le perbromure d'or. . . . .	Au <sup>'''</sup> Br <sup>5</sup> , etc.

Comme un nombre impair d'atomes de chlore ne sauraient être remplacés par l'oxygène et les corps diatomiques en général, il intervient deux atomes d'or dans les oxydes et les sulfures de ce métal. On connaît :

Un protoxyde d'or. . . . .	Au } O
	Au }
Et un sesquioxyde. . . . .	Au } O <sup>5</sup>
	Au }
Un protosulfure d'or. . . . .	Au } S
	Au }

Et un sesquisulfure. . . . .  $\left. \begin{matrix} \text{Au} \\ \text{Au} \end{matrix} \right\} \text{S}^3$

**Perchlorure d'or**  $\text{Au}''' \left\{ \begin{matrix} \text{Cl} \\ \text{Cl} \\ \text{Cl} \end{matrix} \right.$  On prépare le perchlorure d'or en

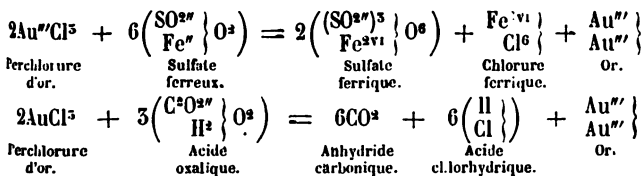
dissolvant le métal pur dans l'eau régale, et évaporant ensuite au bain-marie ; si l'on arrête l'opération dès que la matière commence à donner des cristaux par le refroidissement, il se dépose des aiguilles qui sont un composé d'acide chlorhydrique et de chlorure d'or. En chauffant, au contraire, jusqu'à ce que l'évaporation soit complète, on obtient une matière jaune fondue qui, en se refroidissant, se fige en aiguilles cristallines, déliquescentes.

A 160°, le perchlorure d'or perd les  $\frac{2}{3}$  de son chlore et se transforme en protochlorure insoluble dans l'eau ; au-dessus de 200°, ce protochlorure lui-même se réduit, et il reste de l'or métallique.

Le perchlorure d'or est très-soluble dans l'eau, à laquelle il communique une belle couleur jaune ; en agitant cette solution avec de l'éther, celui-ci se colore en s'emparant du chlorure d'or, tandis que l'eau se décolore. Le perchlorure d'or est donc plus soluble encore dans l'éther que dans l'eau.

La lumière décompose lentement le perchlorure d'or ; du métal se dépose sur les parois des vases qui renferment ce sel.

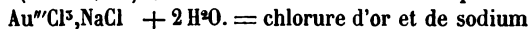
Les corps réducteurs comme les sels ferreux, l'acide oxalique, etc., décomposent aussi le perchlorure d'or en mettant le métal en liberté :



Lorsqu'on réduit le perchlorure d'or au moyen du protochlorure d'étain, le précipité, qui se forme n'est pas de l'or pur, il renferme à la fois de l'or, de l'étain et de l'oxygène ; suivant la concentration des liqueurs ce précipité qui a reçu le nom de pourpre de Cassius est d'une couleur pourpre plus ou moins pure.

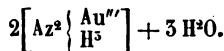
La réduction du chlorure d'or par la peau, explique les taches violettes qu'il y fait naître.

Le chlorure d'or forme des chlorures doubles avec les autres chlorures métalliques, ceux de ces chlorures doubles qui contiennent des métaux alcalins sont les mieux définis, leurs formules sont :

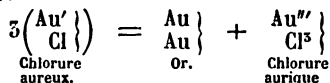


Ces chlorures sont ou des combinaisons moléculaires, ou des combinaisons atomiques, dans lesquelles le chlore fonctionne comme trivalent.

L'ammoniaque donne avec la dissolution aqueuse du perchlorure d'or un précipité explosible (or détonant) qui renferme du chlore, de l'hydrogène, de l'azote, de l'oxygène et de l'or. Abandonné pendant longtemps au contact de l'ammoniaque, ce composé perd tout son chlore et devient plus explosible encore. Sa formule paraît être alors



**Protochlorure d'or**  $\text{Au}'\text{Cl}$ . On le prépare en chauffant le perchlorure à une température qui ne dépasse pas  $200^\circ$  ; il perd alors du chlore et se convertit en chlorure aureux, poudre jaune pâle très-instable, que l'eau seule dédouble à la longue en chlorure aurique et en or.



**Perbromure d'or**  $\text{Au}''\text{Br}^3$ . On l'obtient comme le perchlorure, c'est-à-dire en dissolvant l'or dans une eau régale faite avec de l'acide azotique et de l'acide bromhydrique, ses propriétés sont semblables à celles du chlorure.

**Protoiodure d'or**  $\text{Au}'\text{I}$ . Le periodure d'or est très-instable et n'est connu qu'en combinaison avec d'autres iodures métalliques ; on obtient un protoiodure de ce métal sous la forme d'une poudre jaune, en ajoutant de l'iodure de potassium dans une solution de perchlorure d'or ; il se forme en même temps de l'iodure libre.

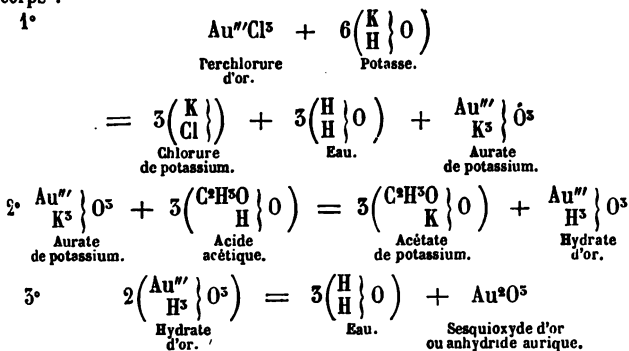
**Sesquioxyle d'or**  $\text{Au}^2\text{O}^3$ . Lorsqu'on verse un hydrate alcalin dans la solution du chlorure d'or, il ne se forme aucun précipité,



mais si l'on fait bouillir le mélange, et qu'on le sature ensuite par l'acide acétique, un précipité se produit. Ce précipité convenablement desséché répond à la formule  $Au^2O^3$ .

Le sesquioxyde d'or se dissout dans les acides chlorhydrique et bromhydrique, en donnant naissance à du chlorure et à du bromure d'or ; les oxacides le dissolvent également en donnant des sels auriques peu stables. Le sesquioxyde d'or se dissout facilement dans les hydrates alcalins avec formation de sels cristallisés. Il joue donc à la fois le rôle d'anhydride basique et d'anhydride acide.

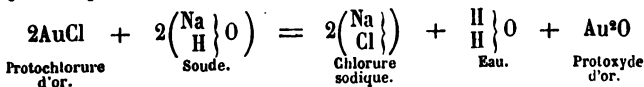
Les équations suivantes rendent compte de la formation de ce corps :



L'aurate de potassium  $Au^{III}K^3O^3$  n'est pas connu à l'état isolé ; on n'a préparé qu'un sel acide  $Au^{III} \left\{ \begin{array}{c} OK \\ OH \\ OH \end{array} \right.$  +  $2H^2O$  qu'on devrait peut-être

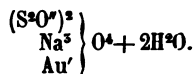
formuler  $Au^{III} \left\{ \begin{array}{c} OK \\ O^r \end{array} \right. + 3H^2O$ , sel correspondant au premier anhydride de l'hydrate aurique  $Au^{III} \left\{ \begin{array}{c} OH \\ O^r \end{array} \right.$  ; ce sel cristallise.

**Protoxyde d'or**  $Au^2O$ . Ce corps reste sous la forme d'une poudre violette, insoluble, décomposable à  $250^{\circ}$ , lorsqu'on fait digérer le protochlorure d'or avec les alcalis.



Le protoxyde d'or ne fait la double décomposition, ni avec les

acides, ni avec les bases. On connaît pourtant un hyposulfite double d'or et de sodium dont la formule est



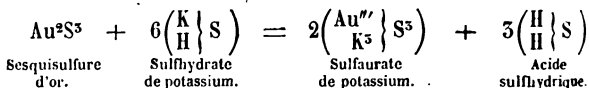
L'or y fonctionne, ainsi que dans tous les composés au minimum, comme monovalent.

Dans ce composé, l'or est dissimulé, au point que, ni le sulfate de fer, ni le chlorure stanneux ne le décèlent. Lorsqu'on traite la solution de cet hyposulfite par le chlorure de baryum, il se dépose un hyposulfite double d'or et de baryum, lequel traité par l'acide sulfurique, perd son baryum et laisse de l'hyposulfite d'or.

L'hyposulfite double d'or et de sodium sert à fixer les images daguerriennes.

**Sesquisulfure d'or**  $\text{Au}^2\text{S}^5$  et **protosulfure d'or**  $\text{Au}^1\text{S}$ . Une dissolution froide de perchlorure d'or donne lorsqu'on la fait traverser par un courant d'acide sulfhydrique, un dépôt jaune brun de sesquisulfure d'or ; dans les mêmes conditions une dissolution bouillante de perchlorure d'or donne un précipité brun foncé de protosulfure d'or.

Ces sulfures sont de vrais anhydrosulfites acides, ils font, en effet, très-nettement la double décomposition avec les sulfhydrates alcalins, et se transforment en sulfosels solubles en dégageant de l'acide sulfhydrique.



**Réactions des sels d'or.** On reconnaît l'or dans les analyses aux propriétés suivantes :

1° Le perchlorure d'or est déliquescent, mais l'éther en est encore plus avide que l'eau ; aussi l'enlève-t-il à ce dernier liquide, lorsqu'on l'agite avec une solution de ce corps.

2° La potasse y produit un précipité jaune rouge de sesquioxide d'or, soluble dans un excès de réactif.

3° Les sels d'or ne sont pas précipités par les carbonates alcalins. Le carbonate d'ammonium y produit un précipité qui détone avec la plus grande facilité et qui est connu sous le nom d'or fulminant.

4° Les sels de potassium et d'ammonium ne les précipitent pas.

5° Le sulfate ferreux réduit le chlorure d'or, surtout si l'on a soin d'additionner préalablement la dissolution d'un peu d'acide chlorhydrique ; l'or se précipite alors sous la forme d'une poussière brune.

6° L'acide oxalique produit à chaud la même réduction et donne lieu à un dépôt d'or miroitant et à un dégagement d'anhydride carbonique.

7° Les sels d'or sont abondamment précipités en jaune par les iodures solubles.

8° Le protochlorure d'étain y produit un précipité. Lorsque les dissolutions sont étendues et que le protochlorure d'étain est mêlé avec un peu de perchlorure, ce précipité acquiert une belle couleur pourpre.

### THALLIUM et INDIUM

Poids atomique = 204      Poids atomique = 115,4

La découverte de ces deux métaux est due à l'analyse spectrale ; le spectre du premier n'offre qu'une seule raie verte et celui du second se compose de deux raies, dont l'une bleue et l'autre violette. Ces deux métaux ne se trouvent qu'en petite quantité dans la nature et sont disséminés dans d'autres minéraux ; le thallium se rencontre en très-petite quantité dans certaines pyrites et blendes et dans les eaux de la saline de Nauheim (Allemagne), et l'indium se trouve en proportion extrêmement minime dans certaines blendes du Harz.

Le thallium mérite de fixer notre attention pendant quelques instants. Comme l'or il fonctionne dans ses combinaisons comme élément trivalent et monovalent ; mais ici les composés de l'élément monovalent sont les plus stables et, chose remarquable, sont absolument analogues aux combinaisons des métaux alcalins.

Le thallium est un métal d'une couleur gris bleuâtre, d'une densité de 11,85, fusible à 290° ; par ses caractères extérieurs il se rapproche du plomb. Il s'oxyde vite à l'air en se couvrant d'une couche noire ; il convient de le conserver sous l'eau.

On connaît : un trichlorure de thallium  $TlCl_3$   
 un protochlorure. . . . .  $TlCl$   
 un sesquioxyde. . . . .  $Tl_2O_3$   
 un protoxyde. . . . .  $Tl_2O$

et de nombreux sels dérivés de ces deux oxydes.

**Protoxyde de thallium**  $Tl^2O$ . A chaud, le thallium brûle à l'air avec une magnifique flamme verte et se convertit en une poudre brune de protoxyde ; celui-ci se dissout facilement dans l'eau en donnant de l'hydrate thalleux  $\left. \begin{matrix} Tl \\ H \end{matrix} \right\} O$ , base cristallisable très-soluble dans l'eau, d'une réaction fortement alcaline, et attirant l'acide carbonique de l'air, comme la potasse. Les sels correspondants cristallisent généralement bien et sont en partie isomorphes avec ceux des métaux alcalins.

#### QUATRIÈME FAMILLE (MÉTAUX TÉTRATOMIQUES).

##### ALUMINIUM Al

Poids atomique = 27,5    Poids moléculaire inconnu.

L'aluminium peut être obtenu, soit en décomposant à chaud le chlorure d'aluminium anhydre par le sodium, soit en soumettant à l'action d'un courant électrique le chlorure double d'aluminium et de sodium fondu. Dans les deux procédés, on doit ensuite agglomérer le métal par une ou plusieurs fusions ; le fondant dont on fait usage est le chlorure double de sodium et d'aluminium.

L'aluminium est d'une couleur blanche intermédiaire entre celle du zinc et celle de l'argent ; il est très-malléable, très-ductile et jouit d'une grande ténacité. Il est très-sonore, conduit très-bien l'électricité et fond à une température supérieure à la température de fusion du zinc et inférieure à la température de fusion de l'argent.

La densité de l'aluminium est de 2,56, elle peut s'élever à 2,67 par le laminage.

L'aluminium ne s'oxyde directement à aucune température, il décompose l'eau au rouge blanc avec production d'alumine ; les acides azotique et sulfurique ne l'attaquent qu'à la température de l'ébullition, l'acide chlorhydrique le dissout, au contraire, avec une grande facilité.

L'aluminium se dissout également dans la dissolution des bases puissantes comme la potasse ou la soude. On observe, dans ce cas, un dégagement d'hydrogène et la production d'un aluminat alcalin.

On peut obtenir un composé d'aluminium et de carbone ou d'aluminium et de silicium ; ces composés sont analogues à la fonte.

L'aluminium ne s'allie pas au mercure, il forme avec le cuivre un alliage d'une couleur jaune d'or qui jouit de la propriété de se souder à lui-même au rouge sombre, à la manière du fer.

On ne connaît aucun composé où l'aluminium entre pour un seul atome. Ce sont toujours deux atomes de ce corps qui interviennent dans les réactions, mais la chaleur spécifique de l'aluminium conduit pour le poids atomique au chiffre 27,5 et non à la valeur double, et l'isomorphisme des composés aluminiques et des composés ferriques ne laisse aucun doute sur la vraie formule des sels aluminiques, et y démontre l'existence du groupe  $Al^2$ .

Le groupe  $Al^2$  étant hexatomique et deux atomes s'unissant en perdant chacun une atomicité, l'atome d'aluminium doit être tétratomique.

On connaît des composés qui résultent de la combinaison de l'aluminium avec les radicaux monatomiques tels que le chlore, le brome, etc.; ces composés répondent tous à la formule  $Al^2R^6$ ; on connaît également des combinaisons de l'aluminium avec les métalloïdes diatomiques, comme l'oxygène et le soufre. Elles sont représentées par la formule générale  $Al^2R^{12}$ .

Grâce à son faible poids spécifique et à ses propriétés précieuses l'aluminium est devenu usuel depuis quelques années et se fabrique actuellement en grand.

COMBINAISONS DE L'ALUMINIUM AVEC LES MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES.

**Chlorure d'aluminium**  $Al^2Cl^6 = \frac{Al^{IV}Cl^5}{Al^{IV}Cl^5}$  On prépare ce corps en faisant arriver un courant de chlore sec sur de petites boulettes poreuses formées d'oxyde d'aluminium et de charbon, et chauffées au rouge.

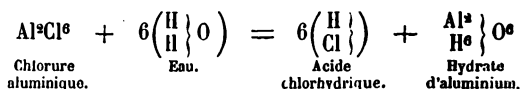


L'opération s'exécute dans un appareil semblable à celui qui sert à préparer le chlorure de silicium, la seule différence consiste en ce qu'ici, à cause du poids de volatilité du chlorure d'alu-

minium, on remplace l'appareil réfrigérant par une cloche à douille; celle-ci est mastiquée par sa grande ouverture dans un entonnoir enté par sa partie étroite sur le col de la cornue où s'opère la réaction. C'est dans cette cloche que le chlorure se condense.

Quant au mélange poreux de charbon et d'oxyde aluminique, on l'obtient en calcinant une pâte faite avec de l'huile, du charbon et de l'oxyde d'aluminium. En mélangeant à cette pâte une quantité suffisante de chlorure de sodium, on obtient, au lieu du chlorure d'aluminium, le chlorure double  $\text{Al}^2\text{Cl}^6, (\text{NaCl})^2$  qui sert exclusivement à la préparation de l'aluminium.

Le chlorure d'aluminium peut cristalliser en lames incolores, et quelquefois transparentes; il fond très-facilement et bout, suivant Liebig, à une température de  $180^\circ$ ; à l'air, il répand des fumées désagréables, il est déliquescent et s'échauffe beaucoup lorsqu'on le dissout dans l'eau. La solution aqueuse de ce sel se décompose, lorsqu'on cherche à l'évaporer, en acide chlorhydrique et hydrate d'aluminium.



C'est ce qui empêche de préparer ce corps en dissolvant de l'hydrate aluminique dans l'acide chlorhydrique; on obtient de cette manière le chlorure hydraté, dont la dessiccation est impossible.

**Fluorure d'aluminium**  $\text{Al}^2\text{Fl}^6$ . M. Deville a obtenu ce corps cristallisé en cubes ou en trémies. A cet effet, il a chauffé fortement dans un tube de charbon de cornue protégé extérieurement par un tube de grès, de l'oxyde aluminique préalablement arrosé avec de l'acide fluorhydrique et desséché ensuite; pendant toute la durée de l'opération, le tube doit être traversé par un courant d'hydrogène, afin d'entraîner les vapeurs du fluorure aluminique qui n'est volatil qu'au rouge blanc; à la fin de l'opération, on trouve de beaux cristaux sur la partie froide du tube.

Les bouchons qui font partie de cet appareil doivent être en charbon, on les lute avec un peu de terre délayée et pétrie avec de la bouse de vache.

Le fluorure d'aluminium est insoluble dans l'eau. Les acides les plus énergiques sont sans action sur lui.

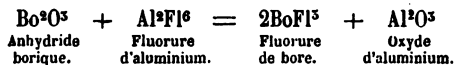
## COMBINAISONS DE L'ALUMINIUM AVEC LES MÉTALLOÏDES DIATOMIQUES.

**Oxyde d'aluminium ou alumine**  $Al^2O^3$ . L'alumine existe cristallisée dans la nature. Le corindon est de l'alumine pure, et le saphir et le rubis oriental ne sont que de l'alumine cristallisée et colorée par des traces d'oxydes métalliques.

M. Deville a obtenu ces corps par un procédé fort élégant.

Il place, dans un creuset de charbon de cornue, du fluorure d'aluminium; au-dessus de ce corps, il met une coupelle pleine d'anhydride borique, recouvre le creuset, le place dans un second creuset de terre, et le chauffe au rouge blanc pendant une heure environ, après ce temps, on sort le creuset du feu et dès qu'il est refroidi, on en retire de jolis cristaux de corindon.

Dans cette opération, l'anhydride borique et le fluorure aluminique se décomposent réciproquement avec formation d'alumine et de fluorure de bore.



Le corindon cristallise dans le système rhomboédrique. L'alumine amorphe peut être préparée par la calcination de l'alun ammoniacal, ou par la calcination de l'hydrate aluminique.

L'alumine ne fond qu'au chalumeau à gaz hydrogène, c'est de cette manière que M. Gaudin a obtenu des rubis artificiels, différent des rubis naturels seulement par leur opacité. Elle n'est pas attaquée par les solutions alcalines, et les acides même concentrés ne font la double décomposition avec elle qu'après un temps fort long; toutefois, l'hydrate correspondant faisant indifféremment fonction d'acide et de base, l'oxyde d'aluminium est un anhydride indifférent.

**Hydrate d'aluminium**  $Al^2(OH)^6$ . On obtient cet hydrate en précipitant un sel aluminique par l'ammoniaque, recueillant sur un filtre et lavant bien le précipité qui se produit. On peut précipiter par la potasse, mais alors le lavage devient difficile, et l'hydrate d'aluminium retient avec opiniâtreté des traces de ce réactif.

*L'hydrate aluminique est susceptible de faire la double décompo-*

sition avec les acides, en donnant des sels d'aluminium résultant de la substitution des radicaux acides à l'hydrogène typique qu'il renferme. Cet hydrate se dissout aussi dans les solutions alcalines et donne des aluminates : il fait donc fonction de base lorsqu'il est en présence des acides forts, et fonction d'acide en présence des bases énergiques.

L'ammoniaque ne dissout que des quantités très-faibles d'hydrate aluminique, sa solution ammoniacale abandonnée à elle-même pendant longtemps dans un flacon fermé, finit par déposer des cristaux microscopiques. L'hydrate d'aluminium existe dans la nature et constitue certains minéraux, tels que le diaspore, l'hydrargillite et la gibbsite.

**Modifications allotropiques de l'hydrate d'aluminium.**  
Lorsqu'on fait bouillir pendant 24 heures de l'eau tenant en suspension de l'hydrate d'aluminium, cet hydrate sans changer de composition, cesse cependant d'être soluble dans les acides et les alcalis, ses propriétés sont alors comparables à celles de l'anhydride aluminique.

Outre cette variété d'hydrate d'aluminium, M. Graham a obtenu de l'alumine soluble en soumettant à la dialyse une solution aqueuse d'aluminate de potassium : la potasse seule passe à travers la membrane du dialyseur. L'hydrate d'aluminium soluble paraît du reste n'être pas une modification allotropique de l'hydrate ordinaire ; selon M. Graham, il constituerait un composé beaucoup plus condensé.

**Sulfate double d'aluminium et de potassium (Alun).**  
 $\left. \begin{matrix} \text{SO}_4^{2''} \\ \text{K}^2 \end{matrix} \right\} \text{O}_2, \left. \begin{matrix} (\text{SO}_4^{2''})^3 \\ \text{Al}^{2''\text{vi}} \end{matrix} \right\} \text{O}_6 + 24\text{H}_2\text{O}$ . Il existe en Hongrie et en Italie une pierre nommée alunite, qui renferme les éléments de deux molécules de sulfate de potassium, deux molécules de sulfate d'aluminium, et cinq molécules d'hydrate aluminique.

En chauffant cette pierre, on modifie l'agrégation de ses principes constituants, et lorsqu'on la lessive après la calcination, on dissout de l'alun. Cet alun est cristallisé en cubes, et il est très-pur. On le connaît dans le commerce sous le nom d'alun de Rome.

On peut aussi préparer artificiellement l'alun. A cet effet, on fait agir l'acide sulfurique sur l'argile qui est un mélange de silicate d'aluminium et d'une quantité variable de silicate de fer :



de la silice se dépose et des sulfates d'aluminium et de fer entrent en dissolution, il suffit d'ajouter du sulfate de potassium à cette liqueur et de faire cristalliser, l'alun se sépare alors du sulfate ferrique qui cristallise mal.

L'alun ainsi préparé renferme toujours un peu de fer qui nuit dans la teinture, et il est cristallisé en octaèdres. Comme l'alun cubique préparé au moyen de l'alunite est beaucoup plus pur, les consommateurs le préfèrent sous cette dernière forme.

La pureté de l'alun de Rome tient à la présence de l'hydrate d'aluminium dans l'alunite. Cet hydrate étant, en effet, une base plus forte que l'hydrate de fer au maximum, lorsqu'on traite l'alunite par l'eau, fait la double décomposition avec les sels ferriques que la liqueur renferme, de l'hydrate ferrique se précipite et l'alun reste pur.

Quant à la cristallisation en cubes, elle tient à une petite quantité de sous-sulfate d'aluminium que la matière contient. Si, en effet, on fait bouillir pendant longtemps une dissolution d'alun cubique, celle-ci dépose une petite quantité de sous-sulfate d'aluminium, et la liqueur filtrée abandonne alors des cristaux octaédriques.

Connaissant les causes qui rendent plus pur l'alun de Rome, et qui déterminent sa forme cristalline, il a été facile de purifier l'alun artificiel et de l'obtenir sous la forme recherchée des consommateurs.

Pour cela, on verse une petite quantité de carbonate de potassium dans une dissolution d'alun saturée à 45°, il se précipite ainsi un peu d'hydrate d'alumine. Cet hydrate décompose les sels ferriques que la solution renferme, et en outre, donne naissance à un peu de sous-sulfate aluminique, de manière que la liqueur en se refroidissant abandonne de l'alun aussi pur que l'alun de Rome et cristallisé en cubes comme lui.

Du reste, l'alun cubique ne renferme pas toujours du sous-sulfate d'alumine. M. Lowel a vu que de tels cristaux peuvent être complètement exempts de ce sel basique. Selon lui, la forme cubique serait due à une *action de présence* exercée par le sel basique au moment de la cristallisation.

L'alun est fortement astringent, il est beaucoup plus soluble dans l'eau bouillante que dans l'eau froide. Lorsqu'on le chauffe, il subit la fusion aqueuse; si on le refroidit alors, il prend l'aspect

vitreux et constitue ce que l'on appelle l'alun de roche. Si, au contraire, on continue à chauffer, l'eau s'évapore, la masse se boursoufle, et l'on obtient une matière blanche qui s'élève au-dessus du creuset où la calcination s'est faite. C'est l'alun calciné des pharmacies, l'alun privé de ses 24 molécules d'eau de cristallisation. Cet alun happe à la langue et est légèrement caustique; il est employé comme tel en médecine.

Chauffé à une température plus élevée, l'alun se décompose, les deux sulfates dont il est formé se séparent, le sulfate de potassium reste inaltéré, et le sulfate d'aluminium se détruit en perdant les éléments de l'anhydride sulfurique; après la calcination, la matière est donc constituée par un mélange d'alumine et de sulfate de potassium.

On peut obtenir des aluns où le potassium soit remplacé par d'autres métaux alcalins, ou par du thallium; ces aluns sont tous isomorphes entre eux. Celui qui contient de l'ammonium, renfermant un sel alcalin décomposable par la chaleur, laisse de l'alumine pure lorsqu'on le calcine.

**Silicate d'aluminium.** Ce sel à l'état de pureté constitue le kaolin, qui sert à la fabrication de la porcelaine; mêlé avec des quantités variables de silicate ferrique, il forme les argiles dont on fabrique les poteries communes. Ce corps est donc assez intéressant au point de vue de ses usages. Le silicate d'aluminium s'est formé par la décomposition lente des feldspaths sous l'influence de l'eau. Ces roches sont, en effet, des silicates doubles d'aluminium et d'un métal alcalin. A la longue, l'eau en passant sur ces roches les a désagrégées, s'est emparée du silicate alcalin, et a laissé pour résidu le kaolin ou l'argile.

**Caractères distinctifs des sels aluminiques.** Les sels d'aluminium sont reconnaissables aux propriétés suivantes :

1° Ils sont précipités par l'ammoniaque et les alcalis fixes. Le précipité se dissout dans la potasse ou la soude caustiques. La chaleur favorise la dissolution.

2° Ces sels ne sont point précipités par l'acide sulfhydrique, mais en présence des sulfures alcalins, ils donnent un précipité d'hydrate d'aluminium.

3° Les carbonates alcalins et le carbonate ammonique donnent lieu à un dégagement d'anhydride carbonique et à la formation d'un précipité insoluble dans un excès de réactif.

4° Si l'on verse dans une dissolution chaude et concentrée de sulfate d'aluminium, une dissolution également chaude et concentrée de sulfate de potassium, il se sépare par le refroidissement des cristaux octaédriques d'alun.

### MANGANÈSE Mn

Poids atomique = 55      Poids moléculaire inconnu.

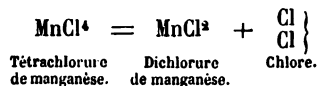
On obtient le manganèse métallique en calcinant ses oxydes avec du charbon, il se produit ainsi un carbure de manganèse. Celui-ci, fondu avec un peu de carbonate manganeux, donne le métal pur. Ce métal est assez cassant; sa densité est 8,015; il est presque infusible.

A 100°, il décompose l'eau avec facilité; à l'air humide, il s'oxyde assez pour qu'on doive le conserver sous l'huile de naphte ou dans des tubes scellés à la lampe.

Les quantités de manganèse qui entrent dans les combinaisons sont égales, tantôt à 1 atome, tantôt à 2. Les composés qui ne renferment qu'un atome portent le nom de composés manganeux, ceux qui en renferment deux ont reçu celui de composés manganiques.

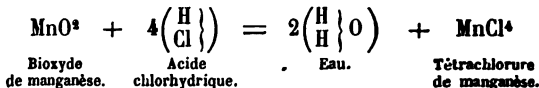
Les composés au minimum sont rarement saturés; le manganèse y fonctionne presque toujours comme bivalent. Ce n'est guère que dans les composés au maximum qu'apparaît la tétratomicité de ce métal; en effet, deux atomes réunis forment alors un groupe hexatomique; ce qui ne peut avoir lieu qu'en admettant pour chaque atome une capacité de saturation maxima égale à 4 au moins.

M. Nicklès a cependant montré que le manganèse forme un chlorure correspondant à la formule  $Mn^{IV}Cl^4$ . Ce chlorure n'avait pu être isolé jusqu'ici à cause de sa grande instabilité; il se décompose, en effet, en protochlorure et chlore.



M. Nicklès l'a rendu stable en le combinant avec les éthers.

Ce chlorure prend naissance pour se détruire immédiatement lorsqu'on traite le bioxyde de manganèse par l'acide chlorhydrique.



Le tétrafluorure  $\text{Mn}^{\text{IV}}\text{F}^4$ , qui se forme par une réaction analogue lorsqu'on remplace l'acide chlorhydrique par l'acide fluorhydrique, est beaucoup plus stable et forme des sels doubles avec les fluorures métalliques ; celui de potassium renferme  $\text{Mn}^{\text{IV}}\text{F}^4, 2\text{KF}$ .

L'existence du tétrachlorure et du tétrafluorure de manganèse met hors de doute la tétratomicité de ce métal.

Les composés du manganèse avec les radicaux monatomiques répondent donc, soit à la formule  $\text{MnR}^2$ , soit à la formule  $\text{Mn}^2\text{R}^4$ , soit plus rarement à la formule  $\text{Mn}^{\text{IV}}\text{R}^4$ .

Les radicaux diatomiques se combinent aussi avec le manganèse, les composés répondent à la formule générale  $\text{MnR}^n$ , lorsqu'ils sont au minimum, et à la formule  $\text{Mn}^2\text{R}^{n2}$ , lorsqu'ils sont au maximum ; mais de plus, et par suite de la faculté qu'ont les radicaux diatomiques de s'accumuler en nombre indéfini dans les molécules, ces radicaux peuvent se combiner au manganèse dans des proportions bien supérieures en nombre aux deux dont il vient d'être question ; ainsi l'on connaît quatre oxydes de manganèse :

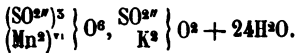
Le protoxyde  $\text{MnO}$ , le sesquioxyde  $\text{Mn}^2\text{O}^3$ , l'oxyde rouge  $\text{Mn}^2\text{O}^4$ , et le bioxyde  $\text{MnO}^2$ .

On connaît, en outre, deux genres salins, les manganates  $\text{MnR}^2\text{O}^4$  et les permanganates  $\text{MnR}^2\text{O}^4$ . L'anhydride correspondant à l'acide manganique serait  $\text{MnO}^5$  et l'anhydride correspondant à l'acide permanganique serait  $\text{Mn}^2\text{O}^7$ . Ces deux anhydrides sont inconnus. On ne connaît pas davantage l'acide manganique  $\text{MnH}^2\text{O}^4$ , mais en revanche l'acide permanganique  $\text{MnH}^2\text{O}^4$  a été obtenu dissous dans l'eau et paraît même pouvoir exister à l'état solide.

Le protoxyde  $\text{MnO}$  est un anhydride basique, il se dissout dans les acides en formant des sels manganoux. On l'obtient en faisant passer un courant d'hydrogène sec sur du bioxyde légèrement chauffé. On place généralement, pour cela, le bioxyde dans une ampoule que l'on chauffe avec une lampe à alcool. Ainsi préparé, il se conserve à l'air.

On peut obtenir un hydrate de manganèse en précipitant par un alcali un sel manganéux soluble. Cet hydrate, exposé à l'air, se transforme en hydrate au maximum.

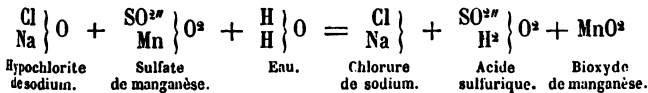
Le *sesquioxyde anhydre*  $Mn^2O^3$  se prépare en calcinant légèrement l'azotate de manganèse. C'est un anhydride basique faible. Dissous dans les acides, il donne des sels manganiques rouges et fort instables ; toutefois le sulfate acquiert de la stabilité en présence des sulfates alcalins auxquels il se combine en donnant des sels qui cristallisent dans le système cubique avec 24 molécules d'eau. Le sel double obtenu avec le sulfate de potassium doit être formulé :



Ces sels, isomorphes avec les aluns, ont reçu par cette raison, le nom d'aluns manganiques.

L'*oxyde rouge*  $Mn^2O^4$  peut être écrit  $\left. \begin{array}{l} (Mn^{2+})^2 \\ Mn^4 \end{array} \right\} O^4$ . Ce composé est alors considéré comme contenant le manganèse au maximum et au minimum en même temps.

Le *bioxyde*  $MnO^2$  existe dans la nature ; c'est le principal minerai de manganèse. Traité par l'acide chlorhydrique, il donne de l'eau et du tétrachlorure manganique. Ce dernier se détruit aussitôt formé, en dégageant du chlore ; il se produit en même temps du chlorure manganéux qui se dissout. La solution de ce chlorure soumise à l'action d'un carbonate alcalin donne un précipité de carbonate de manganèse à l'aide duquel on peut préparer tous les sels manganéux. On obtient le bioxyde à l'état de pureté en précipitant un sel manganéux par de l'hypochlorite de sodium alcalin.

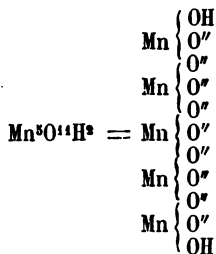


L'alcali libre sature l'acide sulfurique qui figure dans l'équation.

Le bioxyde  $MnO^2$  doit être considéré comme l'anhydride d'un

acide inconnu  $Mn^{IV} \left\{ \begin{array}{l} OH \\ OH \\ OH \\ OH \end{array} \right.$ , analogue à l'acide silicique normal. On

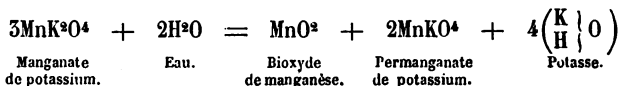
a décrit plusieurs anhydrides de cet acide, dont l'un, correspondant au cinquième anhydride de l'acide pentasilicique, renferme.



Cet acide forme des sels parfaitement définis, dont la formule générale est  $\text{Mn}^5\text{O}^{11}\text{M}^2$ .

Le *manganate de potassium*  $\text{MnK}^2\text{O}^4$ , s'obtient lorsqu'on chauffe un mélange de bioxyde de manganèse et de potasse, au contact de l'air, ou mieux lorsqu'on calcine du bioxyde de manganèse avec une substance capable de céder du potassium et de l'oxygène, comme le nitrate de potassium.

Le manganate de potassium est vert; l'eau alcaline le dissout sans altération, mais l'eau pure, ou mieux l'eau additionnée d'un peu d'acide azotique, transforme ce sel en un mélange de peroxyde de manganèse et de permanganate de potassium.

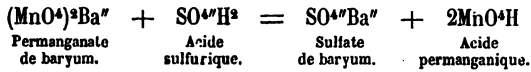


Quand on expose à l'air la solution de manganate potassique, l'anhydride carbonique produit lentement la réaction dont nous venons de parler, et comme les couleurs du manganate et du permanganate de potassium sont fort différentes, il se produit une foule de teintes qui ont fait donner jadis à ce corps le nom de caméléon minéral.

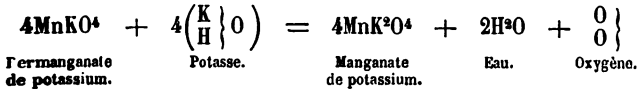
Le *permanganate de potassium* s'obtient par la calcination d'un mélange de peroxyde de manganèse, d'hydrate de potassium et de chlorate de potassium. En reprenant par l'eau, filtrant sur de l'amiante et évaporant, on ne tarde pas à voir se déposer des cristaux de permanganate de potassium, presque noirs avec reflets métalliques verts; ce sel répond à la formule  $\text{MnKO}^4$ .

Le permanganate de potassium, en présence des solutions salines des divers métaux, donne des précipités. Le permanganate de baryum, ainsi préparé par double décomposition, donne de l'acide

permanganique lorsqu'on le traite par l'acide sulfurique dilué.



Sous l'influence de la potasse, les permanganates se transforment en manganates.



Les permanganates de potassium, de sodium, de baryum, de strontium et d'argent sont isomorphes avec les perchlorates des mêmes métaux.

Les permanganates solubles affectent une belle couleur violette.

**Réactions des sels de manganèse.** Les sels de manganèse se reconnaissent aux caractères suivants :

- 1° Ils sont rosés et deviennent blancs lorsqu'on les dessèche.
- 2° Chauffés sur une lame de platine avec de la potasse dans la flamme oxydante du chalumeau, ils donnent une masse verte de manganate alcalin.
- 3° Bouillis avec un mélange de bioxyde de plomb et d'acide azotique, ils donnent une liqueur colorée en violet par de l'acide permanganique. Cette réaction est très-sensible.
- 4° La potasse et la soude y produisent un précipité blanc qui se fonce rapidement à l'air.
- 5° Les sulfures alcalins solubles y déterminent la formation d'un précipité de sulfure de manganèse hydraté, couleur de chair. Ce précipité se dissout à froid dans l'acide chlorhydrique étendu et dans l'acide acétique.

## FER Fe

Poids atomique = 56    Poids moléculaire inconnu.

Les seuls minerais de fer exploités sont les oxydes de ce métal (oxyde magnétique, hématite rouge, hématite brune, etc.) et le carbonate de ce métal (sidérose). Ces minerais sont ordinairement mêlés avec des matières étrangères (gangues), qui sont tantôt calcaires, tantôt siliceuses.

On peut réduire ces minerais soit par la méthode catalane, soit par la méthode des hauts-fourneaux.

Dans les deux méthodes on enlève l'oxygène à l'oxyde en mettant le minerai en contact avec de l'oxyde de carbone à une haute température. L'oxyde de carbone est produit par la combustion directe du charbon que l'on mêle au minerai. Voici en quoi consiste la différence des deux méthodes :

Dans la méthode des hauts-fourneaux, on ajoute aux minerais la quantité de calcaire voulue pour transformer la silice en silicate de calcium, afin de ne pas perdre de fer à l'état de silicate irréductible par l'oxyde de carbone. La fusion du silicate de calcium exige une température bien supérieure à celle où l'oxyde de fer est réduit, et à cette haute température le fer s'unit au charbon et donne de la fonte. Il faut ensuite maintenir la fonte fondue dans un fort courant d'air pour brûler le charbon qu'elle contient et la faire passer à l'état de fer doux (affinage de la fonte).

Dans la méthode catalane, on élève moins la température. Au lieu de silicate de calcium, il se forme du silicate de fer beaucoup plus fusible, et la chaleur n'atteignant jamais le degré où le charbon se combine au fer, on n'obtient pas de fonte, mais bien du fer doux, dès la première opération. Ce procédé ayant l'inconvénient grave de faire perdre une partie du fer à l'état de silicate ne peut être employé que pour les minerais fort riches; aussi est-il presque abandonné aujourd'hui.

Nous avons dit que la fonte est une combinaison de carbone et de fer. Il existe aussi une autre combinaison de fer beaucoup moins carburée, qui a reçu le nom d'acier. Ce dernier corps a la propriété de devenir très-dur par la trempe. On le prépare soit en chauffant le fer avec du charbon (acier de cémentation), soit en brûlant incomplètement le carbone de la fonte. L'acier de meilleure qualité est l'acier de cémentation fondu. On fait aussi de l'acier en pétrissant au rouge, sous le marteau, s'il est permis d'user de ce mot, l'acier de cémentation. Mais l'acier ainsi obtenu n'est jamais aussi homogène que l'acier fondu. Ce dernier est justement préféré. Depuis quelques années on emploie pour la transformation de la fonte en acier et même en fer doux un procédé fort ingénieux, connu sous le nom de procédé Bessemer, qui a amené une véritable révolution dans l'industrie du fer et de l'acier. Il consiste à faire passer à travers de la fonte fondue con-



tenue dans une espèce de cornue, nommée convertisseur, un violent courant d'air ; le charbon de la fonte est brûlé, et en quelques minutes le fer est transformé en acier fondu. Si l'on continue le courant d'air plus longtemps on décarbure complètement le fer et on brûle même du métal ; on obtient dans ce cas du fer doux, mais celui-ci étant trop peu fusible n'est plus suffisamment fluide pour pouvoir être sorti facilement du convertisseur.

On a prétendu que l'acier contient, outre le fer et le carbone, une certaine quantité d'azote, mais cette opinion a été vigoureusement combattue.

La présence de certains corps étrangers tels que le titane a la propriété de donner à l'acier une dureté beaucoup plus considérable. Aussi traite-t-on depuis plusieurs années, en Angleterre, les fers titanés de l'Australie pour la fabrication de l'acier.

Le fer obtenu par les procédés industriels renferme toujours des substances étrangères. Pour l'obtenir pur, on prépare du sesquioxide de fer à l'état de pureté absolue et l'on réduit cet oxyde par l'hydrogène. A la fin, il faut agréger le métal en chauffant un peu plus fortement, sinon il est pyrophorique.

Le fer possède une texture cristalline qui est tantôt à grains brillants, tantôt fibreuse. Le fer à texture fibreuse est plus estimé, parce qu'il possède plus de ténacité que l'autre.

Le fer est le plus tenace de tous les métaux. Il ne fond qu'à une température fort élevée. Au rouge blanc, il se ramollit assez pour qu'on puisse le souder à lui-même, propriété d'une haute importance dans l'industrie.

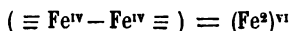
Le fer ne s'altère ni dans l'oxygène ni dans l'air sec. A l'air humide, il s'oxyde et se recouvre de rouille ; la présence de l'anhydride carbonique facilite cette altération. Cette oxydation se fait aux dépens de l'eau, et l'hydrogène naissant s'unit à l'azote de l'air en formant de l'ammoniaque dont la rouille est toujours imprégnée.

Le fer décompose l'eau au rouge en mettant de l'hydrogène en liberté. A cette température, il s'unit aussi directement à l'oxygène atmosphérique ; il se forme alors un oxyde que l'on nomme oxyde des battitures, parce qu'il constitue les débris qui se détachent du métal lorsqu'on le martelle à chaud. A froid, le fer se dissout dans les acides avec dégagement d'hydrogène.

Le fer forme avec les radicaux monatomiques deux séries de composés ; dans les premiers intervient un seul atome de ce métal,

qui dans ce cas ne se sature jamais, et, bien que tétratomique, se comporte comme bivalent. A ces composés en correspondent d'autres du même ordre, que le fer engendre en s'unissant aux radicaux diatomiques. Tous les composés de cet ordre portent le nom de combinaisons au minimum ou de composés ferreux.

Le fer forme en outre des combinaisons qui contiennent non plus un seul atome de ce métal, mais bien le groupe  $\text{Fe}^2$ . Ce groupe est naturellement hexatomique, puisque les deux atomes de fer échangent réciproquement entre eux une atomicité. C'est ce que montre la formule suivante



Le groupe  $\text{Fe}^2$  est donc susceptible de s'unir soit à 6 radicaux monatomiques, soit à 3 radicaux diatomiques. Les composés de cet ordre sont généralement désignés sous le nom de composés au maximum ou de composés ferriques.

Les principaux composés ferreux et ferriques sont les suivants :

COMPOSÉS FERREUX.	COMPOSÉS FERRIQUES.
Protochlorure de fer. $\text{FeCl}^2$ .	Perchlorure de fer. . . $\text{Fe}^2\text{Cl}^6$ .
Protobromure. . . . $\text{FeBr}^2$ .	Perbromure. . . . $\text{Fe}^2\text{Br}^6$ .
Protoiodure. . . . $\text{FeI}^2$ .	Periodure. . . . $\text{Fe}^2\text{I}^6$ .
Protofluorure. . . . $\text{FeFl}^2$ .	Perfluorure. . . . $\text{Fe}^2\text{Fl}^6$ .
Hydruure. . . . $\text{FeH}^2$ .	Sesquioxyde. . . . $\text{Fe}^2\text{O}^3$ .
Protoxyde. . . . $\text{FeO}$ .	Sesquisulfure. . . . $\text{Fe}^2\text{S}^3$ .
Protosulfure. . . . $\text{FeS}$ .	Hydrate ferrique . . $\left. \begin{array}{l} \text{Fe}^2 \\ \text{H}^6 \end{array} \right\} \text{O}^6$ .
Sels ferreux. . . . $\left. \begin{array}{l} \text{Fe} \\ (\text{R}')^2 \end{array} \right\} \text{O}^2$ .	Sels ferriques. . . . $\left. \begin{array}{l} \text{Fe}^2 \\ (\text{R}')^6 \end{array} \right\} \text{O}^6$ .

$\text{R}'$  est un radical acide monatomique.

En vertu de la faculté qu'ont les radicaux diatomiques de s'accumuler dans les molécules, le soufre et l'oxygène forment avec le fer, outre les composés précédents,

L'oxyde de fer magnétique . . . . .	$\text{Fe}^3\text{O}^4$
L'anhydride ferrique . . . . .	$\text{FeO}^3$
Le bisulfure de fer. . . . .	$\text{FeS}^2$
La pyrite magnétique. . . . .	$\text{Fe}^2\text{S}^3$

COMPOSÉS DE FER AU MINIMUM OU FERREUX.

**Protochlorure de fer**  $Fe^{II}Cl^2$ . On obtient le protochlorure de fer anhydre en dirigeant un courant de gaz acide chlorhydrique sec

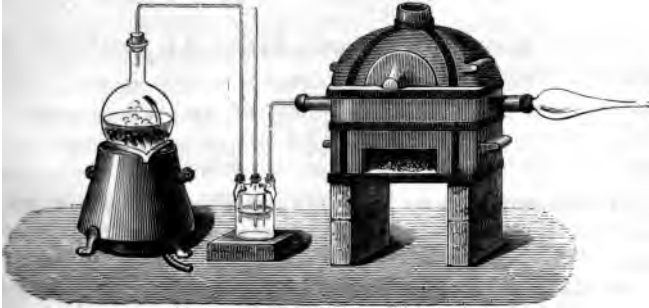
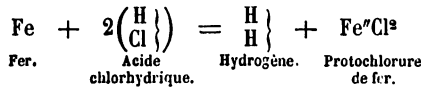


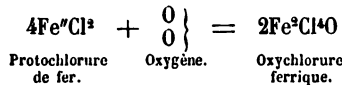
Fig 38.

(fig. 38) à travers un tube de porcelaine contenant du fer pur et chauffé au rouge.

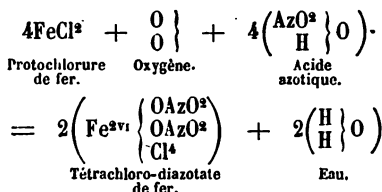


Ce sel va se condenser en écailles brillantes sur les parois de la partie froide du tube.

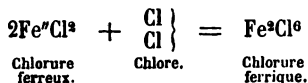
Le chlorure ferreux est volatil, soluble dans l'eau et dans l'alcool. Sa solution aqueuse est verte. Lorsqu'on l'évapore, elle laisse déposer des cristaux verts hydratés dont la formule est  $FeCl^2 + 4H^2O$ .; à l'air, cette dissolution absorbe l'oxygène et se trouble, sa couleur devient jaunâtre; il se forme dans ce cas un oxychlorure  $Fe^2Cl^4O$ .



Si l'on fait agir simultanément sur le protochlorure de fer un acide et un corps oxydant, il se forme un sel double au maximum.



Le chlore se combine au chlorure ferreux et le transforme en chlorure ferrique :



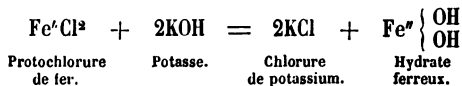
**Protobromure de fer** FeBr<sup>a</sup>. Les propriétés et le mode de préparation de ce composé sont les mêmes que ceux du corps précédent ; il est donc inutile de nous y arrêter.

**Protiodure de fer** FeI<sup>a</sup>. On prépare le protoiodure de fer hydraté pour les besoins de la médecine en triturant sous l'eau le fer avec l'iode ; il est bon de mettre une quantité de fer supérieure à la proportion atomique qui exigerait 56 parties de fer pour 254 parties d'iode, car l'excès de fer empêche l'oxydation à l'air. Quand la liqueur a perdu toute odeur d'iode, on filtre et l'on évapore rapidement. La liqueur concentrée abandonne en se refroidissant des cristaux verts d'iodure de fer.

Il faut, autant que possible, éviter le contact de l'air pendant cette opération ; l'iodure ferreux s'altère en effet très-promptement à l'air en absorbant l'oxygène pour se convertir en oxyiodure ferrique.

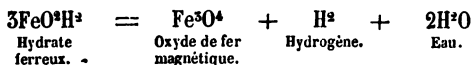
**Protoxyde de fer** FeO. Lorsqu'on fait passer des volumes égaux d'anhydride carbonique et d'oxyde de carbone sur du sesquioxyde de fer chauffé au rouge, le fer est ramené à l'état de protoxyde. Ce corps renferme cependant toujours du sesquioxyde en petite quantité.

On peut obtenir un hydrate de fer en précipitant un sel ferreux par la potasse :



Cet hydrate est si altérable qu'il est impossible de le déshydrater

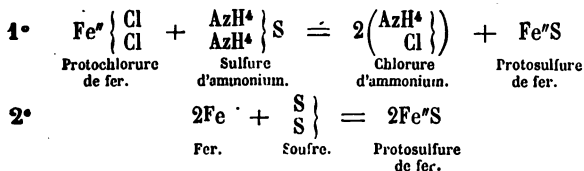
sans le détruire ; lorsqu'on le chauffe, il perd de l'eau, dégage de l'hydrogène et laisse un résidu d'oxyde magnétique :



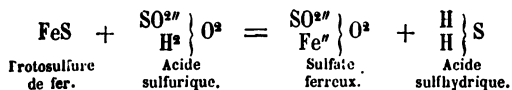
L'hydrate ferreux est blanc au moment de sa précipitation, mais il verdit très-vite à l'air en se transformant d'abord en hydrate magnétique et finalement en hydrate ferrique jaune brun.

L'hydrate de fer est une véritable base susceptible d'échanger son oxhydrile contre le résidu halogénique des acides.

**Protosulfure de fer** FeS. On peut préparer ce corps soit par voie humide, en précipitant un sel ferreux par le sulfure d'ammonium, soit par voie sèche en chauffant un mélange fait en proportion atomique de soufre et de fer.



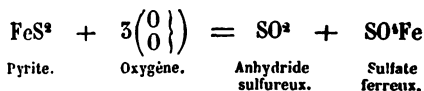
Le sulfure préparé par voie humide est pulvérulent, noir, et absorbe l'oxygène avec une extrême facilité en passant à l'état de sulfate. Le sulfure obtenu par voie sèche est dur, cassant et doué d'un reflet métallique. Dans tous les cas, le sulfure de fer est attaqué par les acides étendus avec formation d'un sel ferreux et dégagement d'acide sulfhydrique :



La limaille de fer et la fleur de soufre mélangées et humides réagissent l'une sur l'autre au bout d'un certain temps ; la réaction s'accompagne d'un grand dégagement de chaleur. Si l'on enterre le mélange à peu de profondeur et qu'il soit abondant, les vapeurs d'eau qui se dégagent projettent la terre au loin, et quelquefois même la combinaison s'accompagne d'un dégagement de lumière. Lémery avait cru pouvoir expliquer de cette manière la cause des volcans, aussi l'expérience que nous venons de décrire est-elle connue sous le nom de volcan de Lémery.

**Sulfate ferreux**  $\left. \begin{matrix} \text{SO}^{2''} \\ \text{Fe}'' \end{matrix} \right\} \text{O}^2 + 7 \text{H}^2\text{O}$ . Dans les laboratoires, on prépare ce sel en faisant dissoudre du fer dans de l'acide sulfurique étendu, concentrant la liqueur et l'abandonnant ensuite au refroidissement pour que le sel se dépose en cristaux.

Dans l'industrie, on préfère préparer ce corps en grillant les pyrites naturelles (bisulfure de fer).



On lessive après le grillage, on laisse éclaircir le liquide, on le décante et, après évaporation convenable, on le fait cristalliser.

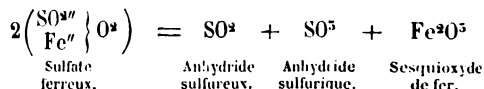
Certaines pyrites absorbent même l'oxygène par simple exposition à l'air, sans qu'il soit nécessaire de les chauffer.

Le sulfate de fer ainsi préparé contient beaucoup d'impuretés, au nombre desquelles du cuivre. Ce dernier métal pouvant nuire dans la teinture, où il trouve son principal emploi, on l'élimine en plongeant pendant quelque temps des lames de fer dans la solution du sulfate : le fer se substitue au cuivre et ce dernier se précipite.

Le sulfate de fer est connu dans le commerce sous le nom de vitriol vert ou couperose verte.

Le sulfate ferreux cristallise en prismes rhomboïdaux obliques verdâtres, qui renferment 7 molécules d'eau. Sa saveur est astringente. 1 partie de ce sel exige pour se dissoudre 1,42 d'eau à 15° et 0,55 d'eau bouillante. Il est insoluble dans l'alcool, mais ce liquide lui enlève 6 molécules d'eau ; il perd également les  $\frac{6}{7}$  de son eau de cristallisation lorsqu'on le chauffe à 100°, mais à 500° seulement il devient tout à fait anhydre.

Calciné, le sulfate ferreux se décompose en anhydrides sulfureux et sulfurique et sesquioxyde de fer : on se rappelle que la préparation de l'acide sulfurique de Saxe est fondée sur cette réaction.



Exposés à l'air, les cristaux ou la dissolution de sulfate ferreux absorbent l'oxygène et donnent un sous-sulfate ferrique jaunâtre que l'on peut détruire en le faisant bouillir avec du fer.

Le sulfate de fer au minimum, en solution aqueuse, ne peut se conserver que si l'eau où on l'a dissous a été préalablement privée d'air par l'ébullition et si la dissolution a été soigneusement abritée contre le contact de l'air.

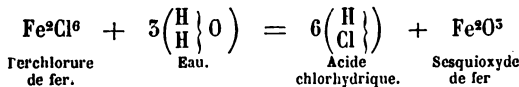
Le sulfate de fer cristallisé avec 7 molécules d'eau, est isomorphe avec les sulfates de la série magnésienne.

**Carbonate ferreux**  $\left. \begin{matrix} \text{CO}'' \\ \text{Fe}'' \end{matrix} \right\} \text{O}^2$ . C'est une poudre blanche insoluble dans l'eau qu'on obtient en précipitant le sulfate par un carbonate alcalin. A l'état humide il s'oxyde très-facilement à l'air, en dégageant de l'acide carbonique et fournissant de l'hydrate ferrique. Il se dissout dans l'eau chargée d'anhydride carbonique ce qui explique comment le fer peut se trouver à l'état de carbonate dans la plupart des eaux minérales ferrugineuses. Il est très-employé en médecine. Il existe dans la nature en beaux cristaux rhomboédriques isomorphes avec le spath d'Islande ou à l'état amorphe; il porte le nom minéralogique de sidérose.

COMPOSÉS DE FER AU MAXIMUM OU FERRIQUES.

**Perchlorure de fer**  $\text{Fe}^2\text{Cl}^6 = \frac{\text{Fe}^{\text{IV}}\text{Cl}^5}{\text{Fe}^{\text{IV}}\text{Cl}^5}$ . On obtient le perchlorure de fer anhydre en faisant passer du chlore en excès sur du fer chauffé au rouge. L'appareil dont on fait usage est le même que celui qui sert à préparer le chlorure ferreux.

On peut encore préparer ce corps en distillant au rouge, dans une cornue de grès, du perchlorure hydraté préparé par la dissolution du fer dans l'eau régale. Dans ce dernier cas, toutefois, une partie du perchlorure est décomposé par l'eau en acide chlorhydrique et sesquioxyde de fer.



On peut aussi se procurer du perchlorure de fer hydraté en dissolvant l'hydrate ferrique dans l'acide chlorhydrique en vertu d'une réaction inverse de la précédente. En évaporant ensuite la liqueur et l'abandonnant au refroidissement, on obtient des lames rhomboédriques jaunes qui répondent à la formule  $\text{Fe}^2\text{Cl}^6 + 6\text{H}^2\text{O}$

Le chlorure ferrique anhydre est couleur d'ailes de cantharides. Il est volatil. L'eau, l'alcool et l'éther le dissolvent; l'eau le fait passer à l'état de chlorure hydraté. Soumis à l'action de la vapeur d'eau dans un tube chauffé, ce corps donne du sesquioxyde de fer cristallisé, identique avec le *fer spéculaire* que l'on rencontre dans la nature.

Le chlorure ferrique en solution aqueuse est employé en médecine comme hémostatique, à cause de la faculté qu'il a de coaguler l'albumine; on l'administre à l'intérieur contre les tendances hémorrhagiques.

**Perbromure et periodure de fer.** Ces corps peuvent être obtenus en combinant directement le fer avec le brome ou l'iode en excès. Ils sont sans emploi.

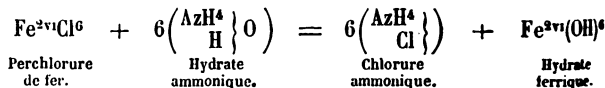
**Sesquioxyde de fer  $Fe_2O_3$ .** Dans l'industrie, on prépare ce corps (colcothar) en calcinant le sulfate ferreux; dans les laboratoires, on l'obtient de préférence en chauffant l'hydrate ferrique.

Dans la nature, on rencontre ce composé en cristaux isomorphes avec ceux de l'alumine.

Le sesquioxyde de fer est un anhydride basique. Toutefois, les acides faibles ne le dissolvent pas; les acides énergiques et bouillants l'attaquent seuls en le transformant en sels ferriques.

Lorsqu'on chauffe du sesquioxyde de fer très-divisé dans un courant d'hydrogène sec, cet oxyde est entièrement réduit, et il reste du fer à un état de division extrême. Ce fer est pyrophorique, à moins qu'à la fin de l'opération on ne lui donne un coup de feu pour l'agréger. C'est ce fer qui est si souvent employé en médecine.

**Hydrate ferrique  $Fe^{2+} \left\{ \begin{matrix} H_6 \\ O_6 \end{matrix} \right\} O^6$ .** Au sesquioxyde de fer correspond un hydrate basique, l'hydrate ferrique. Ce corps se prépare ordinairement par la décomposition, au moyen de l'ammoniaque, d'un composé ferrique soluble. Il faut recueillir sur un filtre et bien laver le précipité qui se forme.



L'hydrate ferrique est réduit par l'hydrogène plus facilement que le colcothar.

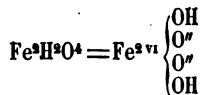


Les acides les plus faibles le dissolvent en donnant naissance à des sels ferriques.

Lorsqu'on le calcine, il perd son eau et devient anhydre. Au moment où cette transformation s'opère, la masse devient incandescente.

Mis en suspension dans une solution alcaline concentrée, à travers laquelle on dirige un courant de chlore, l'hydrate ferrique passe rapidement à l'état de ferrate alcalin.

D'après M. Péan de Saint-Gilles, lorsqu'on fait bouillir de l'hydrate ferrique avec de l'eau pendant sept ou huit heures, l'hydrate ferrique perd beaucoup d'eau et se convertit dans un anhydride qui a pour formule :

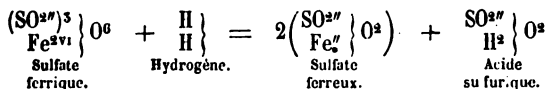


Ce nouveau composé ne présente plus le phénomène de l'incandescence lorsqu'on le calcine et se dissout aussi difficilement dans les acides que le sesquioxyde anhydre.

M. Graham a obtenu une modification soluble d'hydrate ferrique en soumettant l'acétate ferrique à la dialyse. Cet hydrate soluble paraît être un produit de condensation.

**Sels ferriques.** On obtient ces sels en dissolvant l'hydrate ferrique dans les divers acides. Le sulfate ferrique se combine avec le sulfate de potassium et donne un alun de fer octaédrique renfermant 24 molécules d'eau de cristallisation.

Lorsqu'on fait agir un agent réducteur sur les sels ferriques, ceux-ci se transforment en sels ferreux, et en même temps une molécule d'acide devient libre.



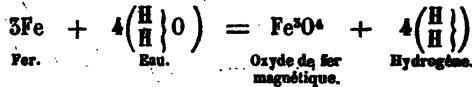
Les agents réducteurs qui peuvent produire ce résultat sont entre autres l'acide sulfhydrique, l'hydrogène naissant et le fer en limaille. Dans le cas de l'acide sulfhydrique la réduction se fait à froid, du soufre se dépose et de l'acide sulfurique devient libre; dans celui de la limaille de fer, il faut, au contraire, faire

bouillir avec ce corps la solution du sel que l'on veut réduire lieu d'acide sulfurique libre, il se fait alors seulement du su ferreux.

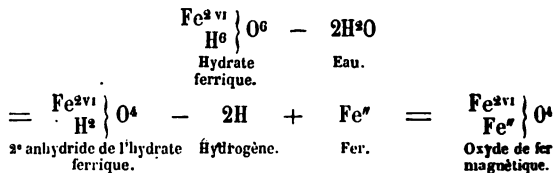
COMPOSÉS DE FER N'APPARTENANT A AUCUNE DES DEUX SÉRIES PRÉCÉD.

**Oxyde de fer magnétique**  $Fe^2O^4$ . Cet oxyde se rencontre la nature, où il constitue un excellent minerai de fer. C'est à que sont composés les aimants naturels.

On peut le produire artificiellement en faisant arriver de la per d'eau sur du fer chauffé au rouge.



On peut aussi le préparer en précipitant par l'ammoniaque mélange de protochlorure et de perchlorure de fer contenant quantités de chacun de ces corps correspondantes au poids leur molécule. Dans ce cas, il est important de verser goutte le mélange dans un grand excès d'ammoniaque. Si versait, au contraire, l'ammoniaque dans le mélange, l'alcali se trouvant pas partout en même temps en excès, il se précipitait d'abord de l'hydrate ferrique, puis de l'hydrate ferreux pas d'oxyde magnétique. L'oxyde magnétique doit être considéré comme un sel ferreux engendré par le deuxième anhydride l'hydrate ferrique faisant fonction d'acide:



Il existe, en effet, des aluminates de fer isomorphes avec lui ne laissent aucun doute sur sa vraie constitution.

**Anhydride ferrique**  $FeO^5$ . L'anhydride ferrique n'est connu, mais lorsqu'on dirige un courant de chlore à travers solution alcaline concentrée tenant en suspension de l'hydrate ferrique, il se forme un sel rouge qui n'est autre que le ferrate de

tassium  $\text{FeK}^2\text{O}^4$ , correspondant au manganate de potassium  $\text{MnK}^2\text{O}^4$ .

**Bisulfure de fer**  $\text{FeS}^2$  (pyrite). La pyrite représente un composé de fer au minimum saturé. C'est le seul que l'on connaisse. Elle existe dans la nature, cristallisée tantôt en cubes, tantôt en prismes. La pyrite cubique est la plus commune ; elle est assez dure pour couper le verre et faire feu au briquet. Sa densité varie de 4,085 à 5,031 selon Dana, et de 5,0 à 5,2 suivant Rammelsberg. Elle est d'un jaune d'or et possède l'aspect métallique. Les acides ne l'altèrent pas ; l'eau régale l'attaque cependant avec facilité. Tantôt cette pyrite s'oxyde à l'air, tantôt elle est inoxydable. La pyrite prismatique présente une couleur jaune verdâtre terne ; elle s'oxyde toujours très-facilement.

Chauffée au rouge, la pyrite perd une partie de son soufre ; calcinée avec du charbon, elle donne du sulfure de carbone et du protosulfure de fer. La pyrite est très-employée dans l'industrie, où elle sert à la préparation de l'anhydride sulfureux et de l'acide sulfurique.

**Pyrite magnétique**  $\text{Fe}^7\text{S}^8$ . Ce corps se rencontre dans la nature cristallisé en prismes hexaèdres réguliers. Il agit sur le barreau aimanté. Sa couleur est bronzée. Sa composition n'est pas très-constante ; il paraît que cette pyrite résulte de la combinaison des autres sulfures entre eux, sans qu'on sache au juste quels sont les sulfures qui sont ainsi combinés.

On peut l'obtenir artificiellement en chauffant au rouge blanc un morceau de fer et le plongeant ensuite dans un creuset rempli de soufre fondu : la pyrite se réunit au fond du creuset.

**Fer titané.** Il existe dans la nature un corps que l'on nomme fer titané et qui renferme du fer, du titane et de l'oxygène. Ce corps est isomorphe avec le sesquioxyde de fer naturel. Pour expliquer cet isomorphisme, on est obligé de considérer le fer titané comme un mélange de sesquioxyde de fer  $\text{Fe}^2\text{O}^3$  et d'un oxyde  $\text{TiFeO}^3$ , qui ne serait autre que l'oxyde précédent, dans lequel un atome de fer serait remplacé par un atome de titane. Si cette interprétation est exacte, la substitution d'un atome de titane tétratômique à un atome de fer, et l'isomorphisme de ce produit de substitution avec l'oxyde de fer ordinaire sont une preuve de plus en faveur de la tétratômicitè du fer.

**Caractères des sels de fer.** Les sels ferreux sont générale-

ment verts et les sels ferriques jaunâtres, ils se distinguent par les caractères suivants :

1° Le ferrocyanure de potassium précipite en bleu les sels de fer ferriques et en blanc les sels ferreux.

2° Le ferricyanure de potassium précipite en bleu les sels de fer au minimum et ne précipite pas les sels au maximum.

3° Les alcalis donnent avec les sels ferreux un précipité blanc, qui à l'air passe très-vite au vert et finalement au jaune-brun, et avec les sels ferriques un précipité jaune-brun, dont la teinte ne change pas.

4° L'acide sulfhydrique n'agit pas sur les sels ferreux, il réduit les sels ferriques, avec dépôt de soufre.

5° Les sulfures alcalins donnent avec les deux classes de sels un précipité noir très-soluble dans les acides étendus.

### CHROME Cr

Poids atomique = 52,2    Poids moléculaire inconnu.

Le chrome peut être extrait de son sesquioxyde au moyen du charbon, à la température d'un violent feu de forge. Le produit renferme toujours du charbon, dont on le débarrasse en lui faisant subir une seconde fusion en présence du sesquioxyde de chrome et du borax.

On peut encore obtenir le chrome en chauffant le perchlore de ce métal avec du sodium et en enlevant ensuite au moyen de l'eau le chlorure de sodium formé.

Enfin, selon M. Wœlher, on obtient le chrome cristallisé en réduisant son perchlore par le zinc.

Préparé par le premier procédé, le chrome a l'aspect métallique. Il est dur et cassant, sa densité est égale à 6,0 ; il devient magnétique à  $-15^{\circ}$  ou  $-20^{\circ}$ , mais ne l'est pas à la température ordinaire.

À la chaleur rouge le chrome absorbe l'oxygène et passe à l'état de sesquioxyde. Les acides et même l'eau régale l'attaquent à peine. Au contraire, en présence des alcalis et d'un corps oxydant comme le chlorate et l'azotate de potassium, il passe à l'état de chromate alcalin.

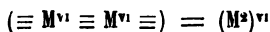
Le chrome, en se combinant au chlore, forme deux chlorures qui correspondent aux deux chlorures de fer. Ce sont :

Le protochlorure. . . . . CrCl<sup>3</sup>  
 Et le perchlorure. . . . . Cr<sup>6</sup>Cl<sup>6</sup>

On a annoncé, en outre, l'existence d'un chlorure de chrome qui correspondrait à la formule CrCl<sup>4</sup>, ainsi que d'un chlorure, d'un bromure, d'un iodure et d'un fluorure dont les formules seraient CrR<sup>6</sup>,R représentant le chlore ou l'un de ses congénères. Toutefois ces composés sont d'une instabilité telle qu'ils n'ont pu jusqu'ici être isolés à l'état de liberté, à l'exception du fluorure. Malheureusement ce dernier corps corrode le verre, ce qui rend très-difficile et son analyse et l'étude de ses propriétés.

La vraie formule de ces divers composés de chrome n'est donc pas encore fixée. Il paraît néanmoins certain qu'ils renferment au moins 4 et peut-être 6 atomes du métalloïde monatomique pour 1 de métal.

Ceci vient à l'appui de nos idées sur l'atomicité du chrome, que nous considérons comme étant supérieure à 2. Il est vrai que nous restons dans le doute sur cette atomicité et que nous hésitons entre les nombres 4 et 6. Si l'on démontrait que le chrome est hexatomique, le fer, le manganèse, l'aluminium, le nickel et le cobalt deviendraient aussi hexatomiques, bien qu'on ne les voie jamais fonctionner avec une atomicité supérieure à 4. Néanmoins, comme la tétratomicité de ces divers métaux repose non pas seulement sur l'existence des quelques composés de chrome peu connus dont il vient d'être question, mais sur d'autres considérations importantes qui ont été développées plus haut. j'ai cru devoir les envisager comme tétratomiques, me réservant d'admettre plus tard leur hexatomicité, si jamais la formule CrF<sup>6</sup> du fluorure de chrome se vérifie. On doit remarquer que si le fer, l'aluminium... etc., étaient hexatomiques, les groupes formés par la réunion de deux atomes de ces métaux pourraient néanmoins n'être qu'hexatomiques. Il suffirait pour cela que les deux atomes qui les constituent échangeassent entre eux 6 atomicités au lieu de 2, comme l'indique la formule suivante :



*On pourrait encore admettre que les deux atomes hexatomiques*

n'échangent que deux atomicités, et que les composés au maximum de ces métaux ne sont pas des composés saturés.

Ces hypothèses ne devront être prises en considération que le jour où la formule  $\text{CrF}_6$  du perfluorure de chrome sera sûrement établie; jusque-là nous devons nous en tenir à la tétratomicité du chrome et de ses congénères, le fer, le manganèse, l'aluminium, le cobalt et le nickel. C'est tout ce que l'interprétation des faits nous permet jusqu'ici.

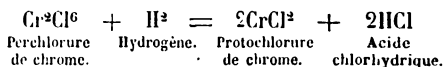
Le chrome forme avec l'oxygène une série de composés aussi complète que la série d'oxydation du manganèse et plus complète que celle du fer. Afin de montrer ces relations, nous écrivons ces trois séries en regard les unes des autres :

	SÉRIE DU CHROME.	SÉRIE DU MANGANÈSE.	SÉRIE DU FER.
Protoxyde. . . . .	$\text{CrO}$	$\text{MnO}$	$\text{FeO}$
Oxyde salin. . . . .	$\text{Cr}^{\text{VI}}\text{O}_4$	$\text{Mn}^{\text{VI}}\text{O}_4$	$\text{Fe}^{\text{VI}}\text{O}_4$
Sesquioxyde. . . . .	$\text{Cr}^{\text{III}}\text{O}_3$	$\text{Mn}^{\text{III}}\text{O}_3$	$\text{Fe}^{\text{III}}\text{O}_3$
Bioxyde. . . . .	$\text{Cr}^{\text{IV}}\text{O}_2$	$\text{Mn}^{\text{IV}}\text{O}_2$	manque
Anhydride chromique. . .	$\text{Cr}^{\text{VI}}\text{O}_3$ Anhydride manganique	At hydride $\text{Mn}^{\text{VI}}\text{O}_5$ ferrique	$\text{Fe}^{\text{VI}}\text{O}_5$
Anhydride perchromique.	$\text{Cr}^{\text{VI}}\text{O}_7$ Anhydride permanganique	$\text{Mn}^{\text{VII}}\text{O}_7$ Anhydride perferrique	manque

Il est bon d'ajouter que les anhydrides manganique, permanganique et ferrique, ne figurent là que parce qu'on connaît les acides ou les sels qui en dérivent. Quant à ces corps eux-mêmes, on ne les connaît pas à l'état isolé.

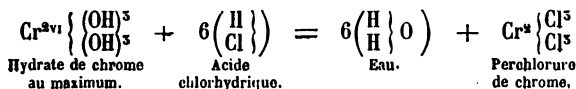
#### COMBINAISONS DU CHROME AVEC LES MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES.

**Protochlorure de chrome**  $\text{CrCl}_2$ . On prépare le protochlorure de chrome en faisant agir à chaud l'hydrogène sur le perchlore.



Ce corps est blanc, cristallin et soluble dans l'eau. A l'air, sa solution aqueuse absorbe l'oxygène et donne un oxychlorure chromique  $\text{Cr}^{\text{VI}}\text{Cl}_4\text{O}$ .

**Perchlorure de chrome**  $\text{Cr}^2\text{Cl}^6$ . Le perchlorure de chrome peut être obtenu hydraté ou anhydre. On l'obtient hydraté en dissolvant l'hydrate basique  $\left. \begin{matrix} \text{Cr}^{2+} \\ \text{H}^6 \end{matrix} \right\} \text{O}^6$  dans l'acide chlorhydrique.



Il affecte alors la couleur verte et est extrêmement soluble dans l'eau. Lorsqu'on le traite par l'azotate d'argent, il perd seulement  $\frac{1}{3}$  de son chlore au début; mais si l'on fait bouillir la liqueur le chlore finit par être entièrement précipité.

Le perchlorure anhydre peut être obtenu par une méthode analogue à celle par le moyen de laquelle on prépare le perchlorure d'aluminium. On fait un mélange intime de sesquioxyde de chrome et de charbon pulvérisé, on pétrit ce mélange avec de la colle d'amidon et on calcine la pâte ainsi obtenue après l'avoir roulée en boulettes. Il se forme de cette manière de petites masses poreuses composées de sesquioxyde de chrome et de charbon, l'amidon se carbonisant par la calcination.

Ces boulettes sont placées dans un tube de grès chauffé au rouge, et soumises à l'action d'un courant de chlore sec. Il se produit ainsi de l'anhydride carbonique qui se dégage et du perchlorure de chrome qui se dépose sur la partie froide du tube.



Le perchlorure de chrome anhydre se présente sous la forme de paillettes cristallines dont la couleur rappelle la fleur de pêcher. Il est tout à fait insoluble dans l'eau, mais il suffit que cette eau renferme  $\frac{1}{10000}$  de protochlorure de chrome pour qu'il s'y dissolve en s'hydratant. On a cherché à s'expliquer ce fait curieux en supposant que le protochlorure enlève son chlore à une partie du perchlorure en passant lui-même à l'état de perchlorure hydraté. Le protochlorure, formé aux dépens du perchlorure réduit, agirait de la même manière sur une nouvelle quantité de ce dernier corps, et ainsi de suite; de sorte que la masse serait réduite en totalité et de proche en proche en protochlorure d'abord, pour passer ensuite à l'état de perchlorure hydraté soluble.

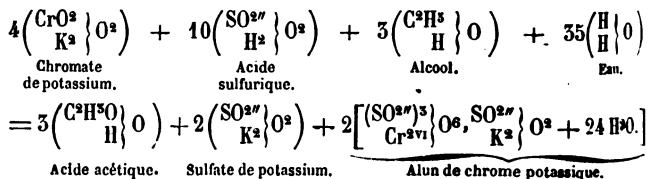
**Sulfate chromique**  $\left. \begin{matrix} (\text{SO}_3^{\text{H}})_2 \\ \text{Cr}_2^{\text{VI}} \end{matrix} \right\} \text{O}_6$ . Lorsqu'on abandonne, avec 8 ou 10 parties d'acide sulfurique, de l'oxyde de chrome provenant de la dessiccation de l'hydrate chromique à  $100^\circ$ , on obtient au bout de quelques jours un sulfate de couleur violette. Ce sel devient vert lorsqu'on fait bouillir sa solution, et chauffé pendant quelque temps à  $200^\circ$ , il prend la couleur rouge.

Le sulfate vert n'est précipité que d'une manière incomplète par le chlorure de baryum, il retient toujours une partie du sulfure qu'il renferme.

**Alun de chrome**  $\left. \begin{matrix} (\text{SO}_3^{\text{H}})_2 \\ \text{Cr}_2^{\text{VI}} \end{matrix} \right\} \text{O}_6 + \left. \begin{matrix} \text{SO}_3^{\text{H}} \\ \text{K}^{\text{I}} \end{matrix} \right\} \text{O}_2 + 24 \text{H}_2\text{O}$ . Le sulfate de chrome jouit de la propriété de se combiner avec les sulfates alcalins; il forme ainsi des sels doubles qui cristallisent avec 24 molécules d'eau. Ces sels, isomorphes avec les aluns, portent par cette raison le nom d'aluns de chrome.

Le sulfate double de potassium et de chrome s'obtient en faisant un mélange de chromate de potassium en solution aqueuse, d'acide sulfurique et d'alcool. On doit opérer le mélange avec lenteur pour que la solution ne s'échauffe pas; sans cela le sulfate de chrome, au lieu de se produire dans sa modification violette, se produit dans sa modification verte et donne un sulfate double vert et incristallisable. Du reste, si l'on abandonne pendant longtemps à elle-même la solution de ce dernier sel, elle subit une transformation moléculaire et revient à l'état d'alun de chrome violet et cristallisable.

L'équation suivante rend compte de la formation de l'alun de chrome :



En remplaçant, dans cette préparation, le chromate de potassium par le chromate de sodium ou d'ammonium, on obtiendrait l'alun de chrome sodique ou ammoniacal.

L'alun chromique-potassique cristallisé est de couleur violet



foncé; il cristallise en octaèdres et est isomorphe avec les aluns d'aluminium, de fer et de manganèse. L'eau le dissout facilement, mais il est insoluble dans l'alcool.

A 80°, l'alun de chrome violet se transforme en alun vert incristallisable.

**Anhydride chromique** CrO<sup>5</sup>. On prend 100 parties en volume d'une dissolution aqueuse saturée de dichromate de potassium et l'on y ajoute 120 à 150 parties en volume d'acide sulfurique; la masse s'échauffe d'abord beaucoup, puis, à mesure qu'elle se refroidit, des aiguilles d'anhydride chromique s'y déposent. On retire ses aiguilles par décantation du liquide et on les met ensuite entre deux plaques de porcelaine déglouée que l'on soumet à une forte pression pendant deux ou trois jours.

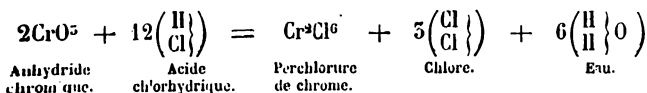
Ce corps contient toujours un peu d'acide sulfurique. Pour l'éliminer, on dissout les cristaux dans l'eau et l'on agit la liqueur avec un peu de chromate de baryum : l'acide sulfurique se précipite à l'état de sulfate barytique, et une quantité équivalente de nouvel anhydride chromique entre en dissolution. Quant au chromate de baryum, étant lui-même insoluble, il n'entre pas dans la liqueur et n'altère pas la pureté du produit.

Après que la solution s'est éclaircie par le repos, on la décante et on la fait cristalliser dans le vide.

L'anhydride chromique cristallise en longues aiguilles d'un beau rouge. La chaleur le décompose en oxygène et sesquioxyde de chrome; la lumière agit de la même manière, mais avec lenteur.

L'anhydride chromique, en vertu de sa richesse en oxygène et de sa grande instabilité est un puissant agent d'oxydation. L'alcool le réduit immédiatement et peut même prendre feu sous son influence. L'anhydride sulfurique et tous les corps réducteurs agissent de même.

L'acide chlorhydrique transforme ce composé en eau et en perchlore de chrome, en même temps que du chlore se dégage.



En présence des bases facilement oxydables, comme l'hydrate ferreux, l'anhydride chromique se réduit, et par suite ne donne pas de sels

L'acide chromique  $\text{CrO}_3$  }  $\text{O}^2$  n'est pas connu, mais on connaît toute une classe de sels qui représentent cet acide, dans lequel les deux atomes d'hydrogène seraient remplacés par des métaux. Les sels neutres répondent à la formule  $\text{CrO}_3$  }  $\begin{matrix} \text{OM}' \\ \text{OM}' \end{matrix}$ , M' étant un métal monatomique. On concevrait aussi des sels acides répondant à la formule  $\text{CrO}_3$  }  $\begin{matrix} \text{OH} \\ \text{OM}' \end{matrix}$ , mais aucun d'eux n'a été préparé jusqu'ici.

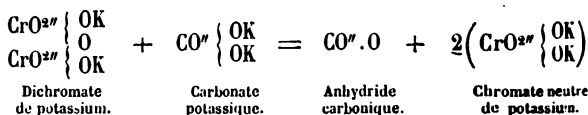
La constitution de l'acide chromique est tout à fait analogue à celle de l'acide sulfurique; les chromates sont isomorphes avec les sulfates correspondants.

Le plus important des chromates est le chromate de potassium.

**Chromate neutre de potassium.**  $\text{CrO}_3$  }  $\text{K}_2$  }  $\text{O}^2$ . Le principal minéral de chrome est un composé auquel les minéralogistes ont donné le nom de fer chromé, et qui répond à la formule  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  }  $\text{Fe}^2$  }  $\text{O}^2$ .

Le fer chromé est calciné avec la moitié de son poids d'azote de potassium; ce dernier fait passer le chrome à l'état d'anhydride chromique qui s'unissant à la potasse donne du chromate de potassium.

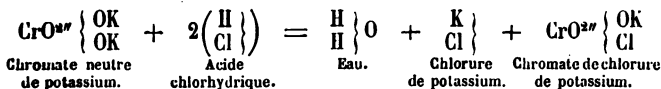
On reprend par l'eau le résidu, et comme cette eau renferme, outre le chromate de potassium, du silicate du même métal provenant du quartz auquel le minéral était mêlé, on y ajoute de l'acide acétique pour précipiter la silice. Sous l'influence de cet acide, le chromate neutre passe à l'état de dichromate, que l'on sépare par cristallisation. Le dichromate de potassium est ensuite redissous dans l'eau, et pour 294 parties de ce sel on ajoute 138 parties de carbonate de potassium; la liqueur abandonne en s'évaporant de beaux cristaux jaunes de chromate neutre de potassium.



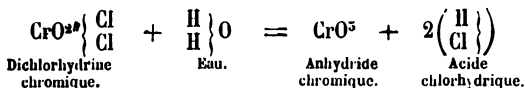
Le chromate neutre de potassium a un pouvoir colorant tel que des quantités extrêmement faibles de ce sel suffisent pour colorer en jaune de grandes quantités d'eau.

**Dérivés chlorés de l'acide chromique.** On connaît un composé  $\text{CrO}^{2n} \left\{ \begin{array}{l} \text{OH} \\ \text{Cl} \end{array} \right.$  qui représente de l'acide chromique normal dont un oxhydryle serait remplacé par du chlore, l'autre restant intact. Ce composé, qui porte le nom de chlorhydrine chromique, n'existe toutefois qu' accolé à deux molécules d'acide chlorhydrique, comme l'exprime la formule  $\text{Cr}(\text{O})^{2n} \left\{ \begin{array}{l} \text{OH} \\ \text{Cl} \end{array} \right., 2 \left( \begin{array}{l} \text{H} \\ \text{Cl} \end{array} \right)$ . L'acide chlorhydrique paraît y exister au même état que l'eau de cristallisation dans les sels, et par suite, il est permis de n'en pas tenir compte pour exprimer la composition atomique du corps.

La chlorhydrine chromique contenant encore un atome d'hydrogène typique, peut l'échanger contre un métal en donnant des sels. On connaît un corps de ce genre qui renferme du potassium; sa formule est  $\text{CrO}^{2n} \left\{ \begin{array}{l} \text{OK} \\ \text{Cl} \end{array} \right.$ . Il a reçu le nom impropre de chromate de chlorure de potassium. On l'obtient en faisant bouillir le chromate de potassium avec de l'acide chlorhydrique; la liqueur l'abandonne en jolies aiguilles rouges par le refroidissement.



On connaît aussi un composé qui résulte de la substitution de deux atomes de chlore aux deux résidus halogéniques de bases qui fonctionnent dans les chromates neutres. Ce corps est connu sous le nom impropre d'acide chlorochromique; on devrait le nommer chlorure de chromyle ou dichlorhydrine chromique. Sa formule est  $\text{CrO}^{2n} \left\{ \begin{array}{l} \text{Cl} \\ \text{Cl} \end{array} \right.$ . Il se détruit au contact de l'eau en produisant de l'acide chlorhydrique et de l'anhydride chromique.



La dichlorhydrine chromique s'obtient en distillant un mélange de chlorure de sodium fondu, de chromate de potassium et d'acide sulfurique. C'est un liquide rouge foncé bouillant à 118°.

**Dérivés condensés de l'acide chromique.** Comme les autres acides polyatomiques en général, et en particulier comme l'acide

sulfurique, auquel il correspond par sa constitution, l'acide chromique a la propriété de se condenser. On ne connaît, il est vrai, ni

l'acide dichromique  $\begin{matrix} \text{CrO}_3 \\ \text{CrO}_3 \end{matrix} \begin{matrix} \text{OH} \\ \text{O} \\ \text{OH} \end{matrix}$  correspondant à l'acide disulfurique,

ni l'acide trichromique  $\begin{matrix} \text{CrO}_3 \\ \text{CrO}_3 \\ \text{CrO}_3 \end{matrix} \begin{matrix} \text{OH} \\ \text{O} \\ \text{OH} \end{matrix}$ , mais on connaît un acide qui

ne diffère de l'acide dichromique que par la substitution du sulfuryle  $\text{SO}_3$  au chromyle  $\text{CrO}_3$ . C'est l'acide sulfochromique

$\begin{matrix} \text{CrO}_3 \\ \text{SO}_3 \end{matrix} \begin{matrix} \text{OH} \\ \text{O} \\ \text{OH} \end{matrix}$ . Il existe, en outre, des sels qui dérivent soit de l'acide

sulfochromique, soit de l'acide dichromique inconnu, soit même de l'acide trichromique. Tels sont le dichromate de potassium et le trichromate du même métal.

**Dichromate potassique**  $\begin{matrix} \text{CrO}_3 \\ \text{CrO}_3 \end{matrix} \begin{matrix} \text{OK} \\ \text{O} \\ \text{OK} \end{matrix} = \text{Cr}_2\text{K}_2\text{O}_7$ . Nous avons déjà

vu comment on obtient ce sel lorsque nous nous sommes occupés du chromate neutre de potassium. C'est un corps qui cristallise en beaux cristaux jaunes orangés. Ces cristaux possèdent un pouvoir colorant tout aussi considérable que le chromate de potassium.

**Trichromate potassique**  $\begin{matrix} \text{CrO}_3 \\ \text{CrO}_3 \\ \text{CrO}_3 \end{matrix} \begin{matrix} \text{OK} \\ \text{O} \\ \text{OK} \end{matrix} = \text{Cr}_3\text{K}_3\text{O}_{10}$ . C'est un

corps qui se sépare en beaux cristaux nacrés d'un rouge noir lorsqu'on abandonne au refroidissement une solution saturée à 60° de dichromate de potassium dans l'acide azotique ordinaire.

**Acide perchromique**  $\text{CrHO}_4$ . Cet acide n'est pas connu avec certitude. Lorsqu'on fait agir l'eau oxygénée sur l'acide chromique, il se produit un corps auquel on attribue la composition de l'acide ou de l'anhydride perchromique ; il est bleu, soluble dans l'éther et très-instable.

**Sulfures de chrome.** Le chrome peut se combiner au soufre. On a décrit un sesquisulfure de ce métal  $\text{Cr}_2\text{S}_3$ .

**Caractères distinctifs des sels de chrome.** Ces sels se reconnaissent aux propriétés suivantes :

1° Les alcalis fixes donnent, avec les sels solubles au minimum :

un précipité brun foncé qui vire au brun clair. Avec les sels au maximum ils donnent un précipité violet ou vert, soluble dans un excès de réactif, mais qui se dépose de nouveau lorsqu'on fait bouillir la dissolution.

2° L'acide sulfhydrique ne précipite ni les sels chromiques ni les sels chromeux.

3° Les sulfures alcalins donnent, avec les sels chromeux, un précipité noir, et, avec les sels chroniques, un précipité vert grisâtre d'hydrate chromique.

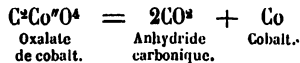
4° Tous les composés chromés, calcinés avec un mélange de carbonate et d'azotate de potassium, donnent du chromate de potassium jaune.

### COBALT Co

Poids moléculaire = 58,7    Poids moléculaire inconnu.

Le cobalt se rencontre dans la nature principalement à l'état d'arséniure (smaltine) et de sulfoarséniure (cobaltine); il est presque toujours associé au nickel.

On peut obtenir le cobalt en réduisant son oxyde par le charbon à une haute température; mais on l'obtient plus pur en calcinant l'oxalate de ce métal.



Le cobalt peut encore être préparé par la réduction de son oxyde au moyen de l'hydrogène. Quand la réduction a lieu à une température relativement basse, le métal obtenu est pyrophorique.

Enfin, il y a un troisième procédé qui permet d'obtenir le cobalt; il consiste dans la réduction du chlorure par l'hydrogène à une température élevée.

Le cobalt est d'un blanc d'argent; il présente une cassure à grains fins; sa densité est de 8,50; il est très-magnétique; sa malléabilité est très-faible.

Le cobalt est à peu près aussi peu fusible que le fer; il se conserve indéfiniment à l'air et sous l'eau à la température ordinaire; à une température élevée, il s'oxyde au contraire facilement.

Ce métal s'unit directement au chlore; au brome et à l'iode: Il

se dissout lentement dans les acides sulfurique et chlorhydrique en dégagant de l'hydrogène; l'acide azotique, au contraire, l'attaque énergiquement.

Le cobalt se combine avec deux atomes de chlore, de brome, d'iode ou de fluor, et forme les composés suivants :

Chlorure de cobalt. . . . .	CoCl <sup>2</sup>
Bromure. . . . .	CoBr <sup>2</sup>
Iodure. . . . .	CoI <sup>2</sup>
Fluorure. . . . .	CoFl <sup>2</sup> .

En outre, lorsqu'on dissout du sesquioxyde de cobalt dans l'acide chlorhydrique, il se forme une liqueur rouge qui dégage du chlore par la plus légère élévation de température. On admet généralement que cette liqueur renferme un chlorure de cobalt Co<sup>2</sup>Cl<sup>6</sup>.

Le cobalt forme avec l'oxygène :

Un protoxyde. . . . .	CoO
Un sesquioxyde. . . . .	Co <sup>2</sup> O <sup>3</sup>
Un oxyde salin. . . . .	Co <sup>2</sup> O <sup>4</sup> .

Au protoxyde correspond l'hydrate  $\left. \begin{matrix} \text{CO}^{\text{O}} \\ \text{H}^{\text{2}} \end{matrix} \right\} \text{O}^{\text{2}}$ . Cet hydrate peut échanger ses deux atomes d'hydrogène typique contre des radicaux acides, et donner naissance aux sels cobalteux.

Au sesquioxyde devrait correspondre l'hydrate  $\left. \begin{matrix} \text{Co}^{2\text{vi}} \\ \text{H}^{\text{6}} \end{matrix} \right\} \text{O}^{\text{6}}$ . Cet hydrate est inconnu; il en existe seulement le second anhydride  $\left. \begin{matrix} \text{Co}^{2\text{vi}} \\ \text{H}^{\text{2}} \end{matrix} \right\} \text{O}^{\text{4}}$ . Le sesquioxyde de cobalt se dissout dans les acides, et particulièrement dans l'acide acétique, en formant des sels cobaltiques. Ces sels sont fort instables; par l'action de la chaleur, ils perdent de l'oxygène et se transforment en sels cobalteux.

On connaît trois sulfures de cobalt correspondant à trois des sulfures de fer. Ce sont :

Le protosulfure de cobalt. . . . .	CoS
Le sesquisulfure. . . . .	Co <sup>2</sup> S <sup>3</sup>
Le bisulfure. . . . .	CoS <sup>2</sup>

Enfin, le cobalt est susceptible de se combiner au phosphore et à l'arsenic.

De tout ce qui précède, on peut conclure que la tétratomicité de

sels de cobalt est un peu douteuse, ce métal se comportant presque toujours comme bivalent et ceux de ses composés où il fonctionne avec une atomicité supérieure étant tellement instables qu'on ne peut pas en fixer la formule avec certitude, excepté pour le sesquioxyde, qui ne prouve rien par suite de la diatomicité de l'oxygène.

Néanmoins, comme les composés au maximum des métaux de cette série perdent de leur stabilité à mesure qu'on s'éloigne de l'aluminium pour se rapprocher du cobalt et du nickel ; comme après tout, bien que leur composition ne puisse être établie avec certitude, les analogies du cobalt avec le fer et le manganèse ne laissent aucun doute sur la formule des sels de cobalt au maximum, le cobalt ne peut guère être séparé des autres métaux de ce groupe et son atomicité doit être considérée comme égale à quatre.

Les rapprochements entre le cobalt et le fer, et la tétratomicité du premier de ces métaux deviennent évidents lorsqu'on considère les composés cyanogénés de ces corps, composés dont nous parlerons en chimie organique.

**Réactions des sels de cobalt.** Les sels de cobalt se reconnaissent aux propriétés suivantes :

1° Ils sont tous d'une couleur rouge ou rouge groseille ; l'un d'entre eux, le chlorure, devient bleu en perdant son eau de cristallisation lorsqu'on le chauffe, pour reprendre sa couleur première, lorsqu'on le laisse refroidir au contact de l'air humide. Cette propriété a permis d'employer ce sel comme encre sympathique, sa couleur bleue l'emportant assez en intensité sur sa couleur rouge pour que celle-ci donne des caractères invisibles qui apparaissent en bleu dès qu'on les chauffe.

2° Les alcalis fixes donnent dans la solution de ces sels un précipité bleu lavande formé par un sel basique, qu'un excès de réactif transforme, immédiatement à chaud, au bout de quelque temps à froid, en hydrate cobalteux rose.

3° L'ammoniaque produit une réaction analogue, mais la précipitation est incomplète et n'a plus lieu du tout en présence d'un excès d'acide ou d'un sel ammoniacal. La dissolution ammoniacale que l'on obtient alors n'est pas précipitée par la potasse ; mais si on l'expose à l'air après l'avoir traitée par cet alcali, il ne tarde pas à s'y déposer du sesquioxyde de cobalt hydraté. On peut aussi en précipiter le cobalt par le sulfure d'ammonium.

4° L'acide sulfhydrique ne précipite pas les sels de cobalt.

5° Les sulfures alcalins y font naître un précipité noir de sulfure de cobalt, insoluble dans l'acide acétique et dans l'acide chlorhydrique étendu.

6° Les carbonates alcalins produisent dans la dissolution aqueuse des sels de cobalt un précipité rose de carbonate de cobalt.

7° Chauffés au chalumeau, avec les divers fondants, dans l'une ou l'autre flamme, les composés de cobalt donnent une belle perle bleue.

## NICKEL Ni

Poids atomique = 58,7    Poids moléculaire inconnu.

Le principal minerai du nickel est l'arséniure de nickel (nickeline).

Le nickel s'obtient à l'état métallique par des procédés absolument identiques avec ceux que nous avons cités en nous occupant du cobalt.

Ce métal est d'un blanc d'argent; il est malléable et ductile; très-magnétique à la température ordinaire, il perd cette propriété à 550°; sa densité est de 8,666 lorsqu'il a été forgé. Il est aussi peu fusible que le manganèse.

Le charbon peut former avec le nickel un composé plus fusible que le métal pur. Ce composé est analogue à la fonte de fer. Le nickel est inaltérable à l'air; à une température élevée, il brûle dans l'oxygène. Les acides chlorhydrique et sulfurique étendus le dissolvent en dégageant de l'hydrogène. L'acide azotique le dissout également.

Le nickel a été utilisé dans l'industrie; il entre dans la composition de la menue monnaie belge et suisse; il fait partie du pack-fung, alliage qui renferme 50 parties de cuivre, 25 de nickel et 25 de zinc; on en a fait des mouvements de montre, etc.

On connaît une seule combinaison du nickel avec chacun des métalloïdes halogènes. Cette combinaison correspond à la formule  $\text{NiR}^2$ .

L'oxygène s'unit au nickel en deux proportions et forme le protoxyde  $\text{NiO}$  et le sesquioxyde  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ . Au protoxyde correspond un



hydrate  $\left. \begin{matrix} \text{Ni}^{\text{II}} \\ \text{H}_2 \end{matrix} \right\} \text{O}^2$ . L'hydrogène de cet hydrate est remplaçable par des radicaux acides, et il se forme des sels de nickel que l'on pourrait appeler sels au minimum. Le sesquioxyde perd de l'oxygène en présence des acides, en se transformant en sel nickéleux, et il dégage du chlore au contact de l'acide chlorhydrique, en donnant du protochlorure. On ne connaît aucun sel de nickel qui lui corresponde.

Le sulfate simple et les sulfates doubles qu'engendre le nickel sont isomorphes, non-seulement avec les sulfates de cobalt, mais aussi avec les sulfates de fer et de manganèse au minimum, et avec ceux des métaux de la série magnésienne.

La tétratatomicité du nickel est plus difficile encore à établir que celle du cobalt. Nous n'avons plus ici qu'un seul composé sur lequel nous puissions baser cette tétratatomicité, le sesquioxyde, corps instable, incapable de former des sels, pouvant être considéré comme résultant de l'agrégation de plusieurs molécules d'oxygène, et par suite ne prouvant absolument rien.

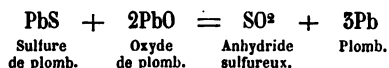
D'un autre côté, le nickel a les plus grands rapports avec le zinc, le magnésium, etc. Il paraîtrait donc plus rationnel, au premier abord, de le classer parmi les métaux diatomiques que parmi les métaux tétratatomiques.

Néanmoins, comme les raisons que nous avons développées au sujet du cobalt nous ont porté à placer ce dernier corps à côté du fer, l'analogie extrême du nickel et du cobalt nous oblige à placer encore le nickel dans la classe des métaux tétratatomiques, en reconnaissant que si son atomicité absolue ou vraie est égale à 4, son atomicité apparente ou manifeste est toujours égale à 2.

**Caractères distinctifs des sels de nickel.** Les caractères distinctifs des sels de nickel sont les suivants :

- 1° Ces sels sont colorés en vert émeraude.
- 2° Les alcalis fixes y produisent un précipité vert comme d'hydrate de nickel.
- 3° L'ammoniaque précipite partiellement les sels de nickel bien neutres. Si ces sels sont acides ou contiennent un sel ammoniacal, l'ammoniaque ne les précipite plus du tout. Quand la précipitation a lieu, le précipité se dissout dans un grand excès de réactif et la liqueur se colore en bleu.
- 4° L'acide sulfhydrique ne les précipite pas; les sulfures alcalins





Cette méthode porte le nom de méthode par réaction.

On peut encore opérer l'extraction du plomb en transformant complètement le sulfure en oxyde par le grillage et réduisant ensuite l'oxyde par le charbon, ou en chauffant directement la galène avec du fer qui s'empare du soufre et met le plomb en liberté.

Le plomb est d'une couleur gris bleuâtre. Il présente l'aspect métallique, lorsqu'il est fraîchement coupé, mais il se ternit facilement à l'air. Il est mou et laisse des traces sur le papier.

La densité du plomb pur est de 11,445, et au lieu d'augmenter par l'érouissage, comme cela a lieu pour les autres métaux, elle diminue. Le plomb cristallise en octaèdres réguliers ou en pyramides à quatre faces. On peut obtenir ces cristaux artificiellement.

Le plomb fond à 324°; au chalumeau à gaz, il peut être volatilisé. Ce métal occupe le sixième rang pour la malléabilité et le huitième pour la ductilité. Sa ténacité est très-faible.

Le plomb fondu jouit de la propriété de dissoudre une petite quantité d'oxyde qui le rend cassant, on peut lui rendre ses propriétés premières en l'agitant avec du charbon lorsqu'il est fondu.

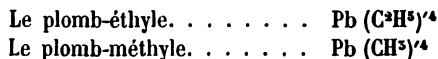
Le plomb peut se conserver indéfiniment à l'air, il paraît se former à sa surface une petite couche d'oxyde, mais celle-ci préserve le métal restant contre une oxydation ultérieure; à chaud le plomb s'oxyde au contraire avec une grande facilité.

Lorsqu'on abandonne du plomb dans de l'eau pure exposée à l'air, le métal absorbe l'oxygène et l'anhydride carbonique et donne un carbonate de plomb hydraté. Les sels solubles et particulièrement le sulfate de calcium empêchent cette réaction de se produire. Ceci explique comment les tuyaux des fontaines qui livrent passage à l'eau commune ne s'oxydent pas.

L'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique étendu n'agissent pas sensiblement sur le plomb. L'acide sulfurique concentré attaque ce métal à chaud en dégageant de l'anhydride sulfureux et en donnant naissance à du sulfate de plomb. Le meilleur dissolvant du plomb est l'acide azotique.

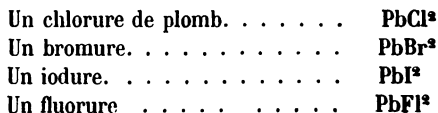
Le plomb se combine facilement au mercure et forme un amalgame qui est liquide ou solide, selon que le mercure ou le plomb y dominant.

Le plomb est tétratomique. Il peut se combiner à 4 molécules de deux radicaux organiques monatomiques, le méthyle et l'éthyle ; on connaît :



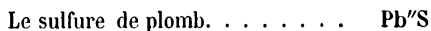
La formule de ces composés n'est pas douteuse ; on peut, en effet, y remplacer le quart de l'éthyle et du méthyle par du chlore ou de l'iode, ce qui serait impossible s'ils renfermaient moins de 4 molécules de ces radicaux.

Avec les corps simples monatomiques, le plomb fonctionne généralement comme bivalent, ce qui veut dire qu'il se sature rarement, il existe :

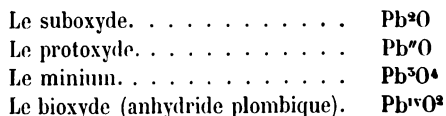


On est cependant parvenu à obtenir un tétrachlorure  $\text{Pb}^{\text{IV}}\text{Cl}^4$ , dans lequel le plomb fonctionne comme tétratomique.

Le plomb se combine aussi avec les métalloïdes diatomiques : avec le soufre, il forme un seul composé :



Avec l'oxygène, il se combine en diverses proportions, de là quatre oxydes distincts :



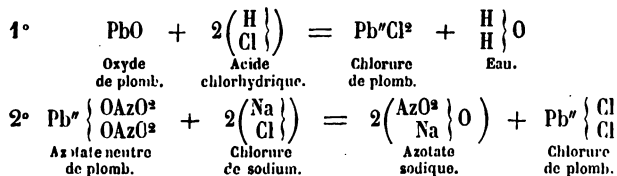
Dans les deux derniers de ces oxydes, le plomb fonctionne avec son atomicité maxima.

A côté du protoxyde se range un hydrate condensé  $\text{Pb}^{\text{IV}} \left\{ \begin{array}{l} \text{OH} \\ \text{O} \\ \text{OH} \end{array} \right.$  auquel correspondent des sels. Quant à l'hydrate simple  $\text{Pb}^{\text{IV}} \left\{ \begin{array}{l} \text{OH} \\ \text{OH} \end{array} \right.$  on ne l'a pas obtenu jusqu'ici, mais on connaît un grand nombre de sels

qui résultent de la substitution de radicaux acides à l'hydrogène typique de cette base.

## COMPOSÉS HALOÏDES DU PLOMB.

**Chlorure de plomb**  $Pb^{II} \left\{ \begin{array}{l} Cl \\ Cl \end{array} \right.$ . On peut préparer le chlorure de plomb en chauffant de l'oxyde de plomb avec de l'acide chlorhydrique, on a ainsi une poudre blanche qui, dissoute dans l'eau bouillante, cristallise par le refroidissement de la liqueur en jolis cristaux aciculaires d'un éclat argentin. On prépare encore ce sel en versant de l'acide chlorhydrique ou un chlorure soluble dans la solution froide d'un sel de plomb.



Le chlorure de plomb est très-peu soluble dans l'eau froide, il est plus soluble dans l'eau bouillante, l'alcool ne le dissout pas du tout.

Chauffé, le chlorure de plomb fond avant la chaleur rouge, et lorsqu'on le chauffe encore plus, il répand d'abondantes fumées ; fondu et refroidi, il constitue une masse translucide que l'on peut couper au couteau, et qui avait reçu le nom de plomb corné.

Dans l'industrie, on prépare pour les usages de la peinture des composés de chlorure et d'oxyde de plomb, oxychlorures de plomb, dont la vraie composition atomique est inconnue. Ces produits affectent tous la couleur jaune.

**Tétrachlorure de plomb**  $Pb^{IV}Cl_4$ . On ne le connaît qu'en combinaison avec d'autres chlorures ; il est très-instable. On l'obtient en solution en traitant à froid le peroxyde par l'acide chlorhydrique.

**Bromure de plomb**  $PbBr_2$ . On le prépare par double décomposition à l'aide d'un sel de plomb et d'un bromure soluble ; il est insoluble dans l'alcool, peu soluble dans l'eau froide, plus soluble dans l'eau bouillante. On l'obtient, comme le chlorure, cristallisé

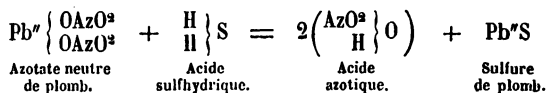
en jolies paillettes, en en saturant de l'eau à l'ébullition et laissant ensuite refroidir le liquide.

**Iodure de plomb**  $PbI^2$ . Il se prépare comme le bromure et le chlorure à cela près que dans la réaction, on substitue un iodure soluble au chlorure ou au bromure.

L'iodure de plomb est jaune, il est insoluble dans l'alcool, peu soluble dans l'eau froide, beaucoup plus soluble dans l'eau bouillante ; par le refroidissement de sa solution faite à chaud, il cristallise en paillettes d'un jaune d'or magnifique. Fondu à l'air il se transforme en un oxyiodure en perdant de l'iode. Chauffé à l'abri de l'air il devient jaune rougeâtre, puis rouge brique, puis rouge brun et fond enfin en un liquide de même couleur qui se prend par le refroidissement en une masse jaune. L'iodure de plomb se combine avec l'acide chlorhydrique, avec les iodures de potassium et d'ammonium, etc., en formant des sels doubles ; avec l'ammoniaque il forme de l'iodure de plombo-diammonium  $[Pb^2H^6Az^2]^2$ .

#### COMBINAISONS DU PLOMB AVEC LES MÉTALLOÏDES DIATOMIQUES.

**Sulfure de plomb**  $PbS$ . Le sulfure de plomb se trouve dans la nature. C'est même le minerai de plomb le plus abondant, il a reçu le nom de galène. On peut obtenir artificiellement ce composé en faisant agir l'acide sulfhydrique sur la dissolution d'un sel de plomb soluble.



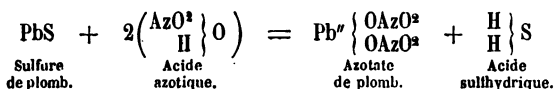
Le sulfure de plomb préparé par double décomposition, constitue une poudre noire et amorphe. La galène au contraire cristallise dans le système cubique. Ses cristaux d'un gris bleuâtre sont doués de l'éclat métallique et possèdent une densité de 7,25 à 7,7. Elle fond à la chaleur rouge et peut même se volatiliser un peu.

Nous avons déjà vu que lorsqu'on grille la galène, il se forme de l'anhydride sulfureux, ainsi que de l'oxyde et du sulfate de plomb. nous avons vu également que chauffée à l'abri de l'air avec l'oxyde

ou le sulfate plombique, la galène donne de l'anhydride sulfureux et du plomb métallique.

L'acide chlorhydrique n'agit pas à froid sur la galène, l'acide sulfurique étendu n'y agit pas non plus. Le même acide concentré cède de l'oxygène à la galène qui passe à l'état de sulfate, et se réduit lui-même en eau et anhydride sulfureux.

L'acide azotique étendu transforme la galène en azotate de plomb avec dépôt de soufre, ce soufre provient de l'acide sulfhydrique qui se forme d'abord, et que l'acide azotique décompose ensuite.



Si l'acide azotique est concentré, une partie du soufre qui se dépose s'oxyde à ses dépens, de l'acide sulfurique prend naissance, et cet acide précipite une quantité équivalente de plomb à l'état de sulfate insoluble. On obtient donc les mêmes produits qu'avec l'acide dilué, et le sulfate de plomb en plus. Si l'acide est au maximum de concentration, tout le soufre passe à l'état d'acide sulfurique, et par suite on n'obtient plus que du sulfate de plomb.

La galène est souvent argentifère, les plus riches sont celles qui sont cristallisées en petits cristaux.

A côté du sulfure de plomb PbS, il paraît exister un sulfure diplombique Pb<sup>2</sup>S et un sulfure tétraplombique Pb<sup>4</sup>S. Le sulfure diplombique se forme pendant le traitement métallurgique de la galène. On peut aussi le préparer en fondant 2 atomes de plomb avec un atome de soufre. Quant au sulfure tétraplombique, on l'obtient en calcinant 100 parties de galène avec 84 parties de plomb.

**Protoxyde de plomb** PbO. Lorsqu'on chauffe le plomb à l'air, il se forme une poudre jaune que l'on désigne sous le nom de *massicot*, et qui n'est autre que du protoxyde de plomb. Ce même massicot se forme lorsqu'on soumet le carbonate ou l'azotate de plomb à une calcination ménagée. Si l'on fond le massicot, il cristallise en se refroidissant et prend alors le nom de *litharge*.

L'oxyde de plomb présente des nuances très-variées; chauffe-t-on par exemple de la litharge, de jaune rougeâtre qu'elle était, elle devient jaune serin pour reprendre par le refroidissement sa

couleur première. La litharge décompose les sels alcalins avec mise en liberté d'alcali caustique; il faut pour cela que l'oxyde plombique soit en excès.

Lorsqu'on fait bouillir de la litharge avec une solution très-concentrée de potasse, elle se dissout. Mais par le refroidissement de la liqueur elle se dépose en partie de nouveau en petits cristaux très-lourds.

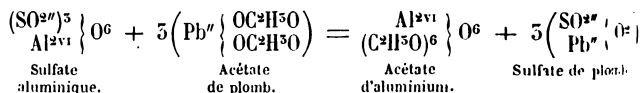
Le protoxyde de plomb fondu et porté à la chaleur rouge absorbe de l'oxygène qu'il abandonne en se refroidissant, à la manière de l'argent métallique. Lorsqu'on le chauffe dans un creuset de terre, il se combine à la silice de ce creuset en formant un silicate fusible, et le creuset se trouve percé au bout d'un temps très-court.

Le protoxyde de plomb fait la double décomposition avec les acides et donne des sels de plomb très-stables. C'est donc un anhydride basique. Nous venons de voir qu'il peut aussi se dissoudre dans les liqueurs alcalines et fonctionner quelquefois comme anhydride acide. Toutefois ses propriétés basiques l'emportent de beaucoup sur ses propriétés acides.

Lorsqu'on chauffe pendant longtemps le protoxyde de plomb à l'air sans le fondre, il se forme du minium.

**Hydrate plombique**  $\text{Pb} \begin{Bmatrix} \text{OH} \\ \text{OH} \end{Bmatrix}$ . Cet hydrate n'est pas connu, mais il existe un grand nombre de sels qui lui correspondent; les plus importants sont le sulfate, l'azotate, le chromate, l'acétate et le carbonate.

**Sulfate de plomb**  $\left. \begin{matrix} \text{SO}_2^{\text{v}} \\ \text{Pb}^{\text{v}} \end{matrix} \right\} \text{O}_2$ . Ce sel se rencontre dans la nature à l'état cristallisé. Dans les fabriques d'impression de tissus, on prépare l'acétate d'aluminium en précipitant le sulfate d'aluminium par l'acétate de plomb, du sulfate de plomb se forme dans cette réaction comme produit accessoire.



Le sulfate de plomb constitue une poudre blanche insoluble dans l'eau et légèrement soluble dans les liqueurs acides. Les sels ammoniacaux le dissolvent en faisant avec lui la double décom-



position. Le tartrate d'ammonium est de tous ces sels celui qui dissout le mieux le sulfate de plomb.

Le sulfate de plomb est indécomposable par la chaleur seule, propriété qui le distingue nettement des sulfates de tous les autres métaux usuels; le fer, le zinc et le charbon le réduisent. Avec le charbon, selon les proportions dans lesquelles les deux corps sont mêlés et le plus ou moins de rapidité du chauffage, le sulfate de plomb se convertit en sulfure ou sous-sulfure de plomb, ou même en plomb métallique; dans ces deux derniers cas de l'anhydride sulfureux se dégage.

Bouilli avec une dissolution de carbonate de sodium, le sulfate de plomb se convertit en carbonate de plomb, tandis que le sodium passe à l'état de sulfate.

Si l'on abandonne un mélange humide d'une molécule de sulfate plombique et d'une demi-molécule de chaux, il se forme de l'hydrate de plomb que l'on peut dissoudre dans l'acide acétique pour le transformer en acétate.

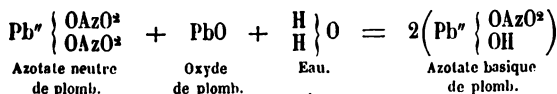
Ce sont autant de moyens d'utiliser le sulfate de plomb que l'on considère dans les fabriques comme un résidu sans valeur.

**Azotate de plomb**  $Pb'' \left\{ \begin{array}{l} OAzO^2 \\ OAzO^2 \end{array} \right.$ . On prépare cet azotate en dissolvant l'oxyde de plomb, ou le plomb métallique dans l'acide azotique bouillant. Ce sel étant très-peu soluble dans les acides se précipite à mesure qu'il se forme. On le dissout dans l'eau et on le fait cristalliser.

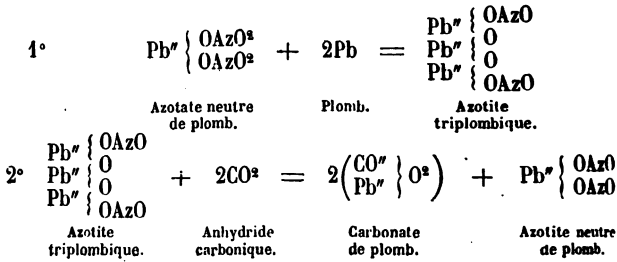
L'azotate de plomb se dissout beaucoup plus dans l'eau chaude que dans l'eau froide. L'alcool ne le dissout pas.

La chaleur le décompose en oxygène, hypoazotite et oxyde de plomb.

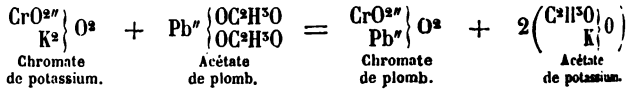
Lorsqu'on le fait bouillir avec de l'oxyde de plomb, il se transforme en un sel basique répondant à la formule  $Pb'' \left\{ \begin{array}{l} OAzO^2 \\ OH \end{array} \right.$ .



Chauffé avec du plomb métallique et de l'eau, il se transforme en azotite basique qui soumis à l'action d'un courant d'anhydride carbonique donne du carbonate et de l'azotite neutre de plomb.



**Chromate de plomb**  $\text{CrO}_3^{\prime\prime} \left\{ \begin{array}{l} \text{O}^2 \\ \text{Pb}^{\prime\prime} \end{array} \right. \text{O}^2$ . Le chromate de plomb se prépare par double décomposition au moyen de l'acétate de plomb et du chromate ou du dichromate potassique.



Le chromate de plomb se rencontre dans la nature sous la forme d'une substance rouge cristallisée en prismes rhomboïdaux obliques (crocoïse ou plomb rouge des minéralogistes).

Le chromate artificiel est d'un beau jaune, on l'utilise en peinture sous le nom de jaune de chrome; lorsqu'on le chauffe au rouge, il fond et se prend par le refroidissement en une masse rougeâtre.

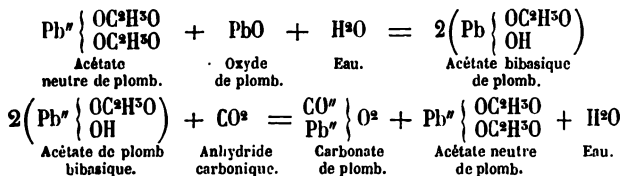
Lorsqu'au lieu de précipiter le chromate neutre de potassium par l'acétate neutre de plomb, on le précipite dans des liqueurs qui ne sont pas neutres, le précipité a une couleur variable. On peut en outre faire varier les couleurs d'après la température à laquelle on opère la précipitation. En général, les chromates de plomb sont d'autant plus chargés en métal, qu'ils sont plus rouges.

**Acétate neutre de plomb**  $\text{Pb}^{\prime\prime} \left\{ \begin{array}{l} \text{OC}^2\text{H}^3\text{O} \\ \text{OC}^2\text{H}^3\text{O} \end{array} \right. + 3\text{H}^2\text{O}$ . Lorsqu'on abandonne du plomb à l'action simultanée de l'air et des vapeurs d'acide acétique, il se forme un acétate basique de plomb. Cet acétate dissous dans l'acide acétique en excès, donne une liqueur qui laisse déposer lorsqu'on l'a fait évaporer, de beaux cristaux dont la formule est celle de l'acétate neutre.

On peut obtenir le même sel en dissolvant la litharge dans l'acide acétique

L'acétate neutre de plomb est extrêmement soluble dans l'eau. L'ammoniaque ne le précipite pas parce que cet alcali donne avec les sels plombiques, non de l'hydrate, mais des sous-sels de plomb ; et que les sous-acétates de plomb sont solubles ; il se forme cependant un précipité au bout de quelque temps ; la précipitation a au contraire lieu immédiatement si l'acétate est mélangé avec une petite quantité d'un autre sel plombique soluble (azotate par exemple).

L'acétate neutre de plomb en solution aqueuse dissout facilement à chaud la litharge. Il se forme, dans ce cas, soit un simple sel bibasique, soit des sels polyplombiques (sous-acétates de plomb). Tous ces sels soumis à l'action d'un courant d'anhydride carbonique, donnent un précipité de carbonate de plomb, tandis que l'acétate neutre du même métal se régénère.



C'est sur une réaction analogue qu'est basée la préparation industrielle du carbonate de plomb par la méthode de Clichy.

**Carbonate neutre de plomb**  $\text{CO}^{\text{II}} \left\{ \begin{array}{l} \text{O}^2 \\ \text{Pb}^{\text{II}} \end{array} \right.$ . On trouve du carbonate de plomb naturel en cristaux du quatrième système (cérusite). Dans les laboratoires, on obtient ce corps sous la forme d'une poudre blanche pulvérulente, en précipitant une dissolution d'acétate de plomb par une dissolution de carbonate de sodium.

Le carbonate de plomb (blanc de céruse), étant fort employé dans la peinture, est préparé en grand dans l'industrie. On l'obtient industriellement par deux procédés : l'un ancien, le procédé hollandais, l'autre moderne, découvert par Thenard, le procédé de Clichy ou procédé français.

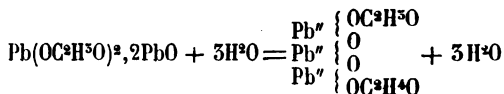
Dans le procédé hollandais, on enterre dans du fumier en fermentation des vases pleins de vinaigre et dans lesquels on suspend des lames de plomb roulées en spirales. Ces vases sont grossièrement fermés par une plaque de plomb.

Les lames de plomb se trouvent ainsi soumises, à une température assez élevée (35° à 40°), à l'action simultanée de l'air, des vapeurs

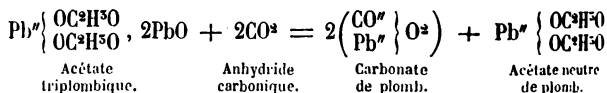
d'acide acétique et de l'anhydride carbonique qui se produit dans la fermentation du fumier.

Sous l'influence de l'air et du vinaigre, le plomb se recouvre d'abord d'acétate basique, lequel au contact de l'anhydride carbonique, régénère de l'acétate neutre et donne du carbonate de plomb; de temps à autre, on détache la couche de carbonate adhérente aux lames de métal, et on lave ce sel pour le débarrasser de l'acétate qu'il renferme. On le dessèche ensuite et on le pulvérise.

Dans le procédé de Clichy, on dissout assez de litharge dans l'acide acétique pour obtenir l'acétate triplombique.



On soumet ensuite la solution de ce sel à l'action d'un courant d'anhydride carbonique, deux molécules d'oxyde de plomb se séparent à l'état de carbonate et l'acétate neutre se régénère.

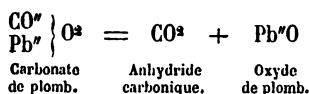


L'acétate neutre régénéré bouilli avec de la litharge fournit une nouvelle quantité d'acétate triplombique, qu'on ramène de nouveau à l'état de carbonate neutre, de manière que, sauf les pertes inévitables, la même quantité d'acide acétique sert indéfiniment.

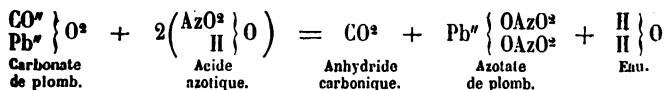
La céruse de Clichy couvre moins bien que celle que l'on prépare par le procédé hollandais, parce qu'elle se compose de parcelles cristallines et transparentes, mais il suffit de la faire bouillir avec un peu de carbonate de potassium pour lui donner la qualité de couvrir tout autant que l'autre.

Jusqu'ici les ouvriers qui fabriquent la céruse ont été exposés à tous les dangers de l'intoxication saturnine (voir p. 417); toutefois MM. Pallu et Delaunay ont tellement amélioré les conditions hygiéniques de la fabrique de Portillon, près de Tours, que, dans cet établissement, on n'a plus d'exemple de ces accidents.

Le carbonate de plomb se décompose, sous l'influence de la chaleur, en oxyde de plomb et anhydride carbonique.



Il se dissout dans les acides en dégageant de l'anhydride carbonique, en même temps que de l'eau et un sel de plomb prennent naissance.



L'hydrogène sulfuré le noircit comme tous les autres sels de plomb en formant du sulfure de plomb, ce qui rend la peinture à la céruse altérable. On a conseillé pour rétablir la couleur première de soumettre à l'action de l'eau oxygénée les peintures noircies par l'hydrogène sulfuré. Le sulfure de plomb se change ainsi en sulfate qui est blanc comme la céruse et la couleur redevient ce qu'elle était au début.

**Hydrate diplombique**  $\left. \begin{array}{l} \text{Pb}'' \\ \text{Pb}'' \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{OH} \\ \text{O} \\ \text{OH} \end{array}$ . On obtient ce corps en pré-

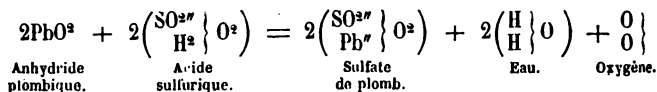
cipitant un sel de plomb soluble par la potasse. L'hydrate de plomb est soluble dans 7000 parties d'eau, les alcalis en excès le dissolvent facilement. Il est blanc, mais lorsqu'on le chauffe, il perd de l'eau et se transforme en protoxyde anhydre de couleur rougeâtre.

**Bioxyde de plomb (anhydride plombique)**  $\text{PbO}^{\text{s}}$ . Le minium, ainsi que nous allons le voir, peut être considéré comme un plombate de plomb. Lorsqu'on le traite par les acides, il leur abandonne les éléments du protoxyde de plomb, et il reste une poudre de couleur puce qui, lavée et desséchée, constitue l'anhydride plombique  $\text{PbO}^{\text{s}}$ .

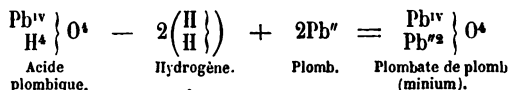
On peut encore préparer le même corps en faisant agir l'acide hypochloreux sur le protoxyde de plomb en suspension dans l'eau.

Le bioxyde de plomb est un anhydride acide; il se combine aux bases et donne des sels cristallisés. M. Freymy en chauffant ce corps avec de l'hydrate potassique, a obtenu un plombate de potassium cristallisé, auquel il attribue la formule  $\text{PbO}^{\text{s}}.\text{K}^{\text{s}}\text{O} + 3\text{H}^{\text{s}}\text{O} = \left. \begin{array}{l} \text{Pb}'' \\ \text{K}^{\text{s}} \end{array} \right\} \text{O}^{\text{s}} + 3\text{H}^{\text{s}}\text{O}$ . Ce sel dérive du premier anhydride de l'acide

plombique normal  $\left. \begin{matrix} \text{Pb}^{\text{IV}} \\ \text{H}^4 \end{matrix} \right\} \text{O}^4$ . Chauffé avec un acide, l'anhydride plombique perd de l'oxygène, et se transforme en un sel de plomb, il en résulte qu'un mélange d'anhydride plombique et d'acide sulfurique est un oxydant énergique.



**Minium ou oxyde salin**  $\text{Pb}^{\text{IV}}\text{O}^4$ . Cet oxyde peut être envisagé comme un sel dérivé de l'acide plombique normal par la substitution de  $\text{Pb}^{\text{II}}$  à  $\text{H}^4$ .



On peut, en effet, préparer le minium en mêlant des dissolutions potassiques d'anhydride plombique et de protoxyde de plomb, le minium se précipite à l'état hydraté.

Dans l'industrie, on obtient le minium par l'action simultanée de l'air et de la chaleur sur le protoxyde; ainsi préparé, il ne présente pas une composition constante.

Le minium est d'un beau rouge, on l'emploie dans la peinture.

**Caractères distinctifs des sels de plomb.** Les sels de plomb solubles se reconnaissent aux caractères suivants :

1° L'acide chlorhydrique y produit un précipité blanc. Ce précipité est insoluble dans l'ammoniaque, qui n'en altère pas la nuance. Il se dissout dans l'eau bouillante, et se dépose en paillettes cristallines par le refroidissement de la liqueur.

2° L'acide sulfurique y détermine la formation d'un précipité noir de sulfure de plomb, insoluble dans le sulfure d'ammonium, et attaquant par l'acide azotique bouillant, qui le transforme partie en azotate soluble, partie en sulfate insoluble.

3° L'acide sulfurique précipite ces sels en blanc. Le précipité se dissout dans le tartrate d'ammonium.

4° Les chromates solubles donnent avec les sels de plomb un précipité jaune soluble dans la potasse.

5° Les alcalis fixes y font naître un précipité blanc soluble dans un excès de réactif.

**Action du plomb sur l'économie animale.** Les composés de plomb exercent une action délétère sur l'économie animale. Les personnes qui sont soumises à cette action éprouvent des phénomènes morbides dont l'intensité est variable.

Le premier degré d'intoxication est une entéralgie très-violente (colique des peintres). Le deuxième degré consiste dans l'irradiation de la douleur précédente dans les membres et surtout dans les articulations (arthralgie saturnine); au troisième degré il se produit une paralysie des membres, cette paralysie se manifeste d'abord dans les muscles extenseurs de la main.

Enfin, dans certains cas, il survient une véritable folie (encéphalopathie saturnine). Ces derniers cas sont ordinairement mortels.

Dans les cas moins graves on combat l'intoxication par des évacuants puissants, qui facilitent l'élimination du poison.

M. Gendrin a conseillé aux ouvriers qui travaillent le plomb de boire des limonades sulfuriques et de prendre souvent des bains sulfureux qu'ils feraient suivre d'un bain savonneux. Ce traitement préventif a pour but d'empêcher soit l'absorption du plomb qui passe dans l'estomac, soit l'absorption du plomb qui se dépose sur la peau. Toutefois il paraît que la limonade sulfurique produit les plus mauvais effets. En rendant le plomb insoluble elle le fixe pour ainsi dire dans les intestins d'où il ne s'élimine plus et où, à la longue, il finit par être absorbé.

Lorsque les accidents de colique saturnine sont déclarés, le mieux est de les traiter par les évacuants et la limonade nitrique

### PLATINE Pt

Poids atomique = 197,5      Poids moléculaire inconnu.

Pendant longtemps, le traitement métallurgique du platine se faisait par voie humide. On débarrassait mécaniquement le minerai de la terre qu'il pouvait contenir, puis on l'attaquait par l'eau régale, qui dissolvait le platine et un peu d'iridium. La liqueur était ensuite décantée, évaporée presque à siccité et précipitée par une solution concentrée de chlorure d'ammonium. Le précipité de chlorure double d'ammonium et de platine ainsi produit était lavé avec de l'eau alcoolisée, puis calciné. Il restait une masse spongieuse de platine (éponge de platine). Celle-ci était

réduite en poudre avec les mains, et l'on en faisait une pâte avec l'eau. Cette pâte, tassée dans un cylindre en fer, donnait une masse métallique d'une certaine consistance ; on n'avait plus qu'à chauffer au rouge cette dernière et à l'agréger en la battant au marteau à cette température élevée.

En 1861, M. Deville a publié un travail d'une grande importance sur la métallurgie du platine. Il substitue la méthode par voie sèche à la méthode par voie humide.

100 parties du minerai débarrassé mécaniquement de ses impuretés, sont fondues avec un poids égal de galène (sulfure de plomb) ; le fer que le minerai renferme s'empare du soufre de la galène et le platine s'allie au plomb devenu libre.

On ajoute ensuite à la masse fondue 50 parties de plomb ; et l'on chauffe en agitant jusqu'à ce qu'on ne sente plus de grains résistants, ce qui indique que l'attaque est complète ; la température, durant cette opération, doit atteindre au moins le point de fusion de l'or et peut s'élever au delà sans inconvénient.

Quand on en est arrivé là de l'opération, on insuffle de l'air dans le creuset, le soufre passe à l'état d'anhydride sulfureux qui se dégage, une portion de la galène passe à l'état de plomb, qui s'unit à l'alliage platinifère, en même temps le fer et le cuivre qui étaient à l'état de sulfure viennent former des crasses d'oxydes à la surface du bain.

Lorsqu'il ne se dégage plus d'anhydride sulfureux, on ajoute au mélange 2 parties de bioxyde de manganèse et 10 parties environ de verre, il se forme une scorie fusible contenant le manganèse, le fer, le cuivre et le verre, et une masse métallique. On laisse refroidir, on casse le creuset et l'on en retire l'alliage de platine et de plomb qui se détache de la scorie.

On place ensuite cet alliage dans un vase poreux fait en cendres d'os (coupelle) posé lui-même au-dessus d'un creuset plein de coke et percé à sa partie inférieure ; on chauffe creuset et coupelle au contact de l'air dans un fourneau spécial (fourneau de coupelle), le plomb s'oxyde et passe à l'état de litharge. Celle-ci fond, filtre à travers les pores de la coupelle et vient tomber sur le coke : là, elle se réduit et il reste du plomb métallique qui s'écoule par l'ouverture inférieure du creuset. Cette opération porte le nom de coupellation, elle donne du platine sous la forme de choux-fleurs. Ce platine renferme encore quelques centièmes de plomb.



un peu d'osmium, de l'iridium et du rhodium. On le place dans un petit four en chaux, on le fond à l'aide du chalumeau à gaz tonnants (hydrogène et oxygène), et on le maintient fondu jusqu'à ce qu'il ne dégage plus ni vapeur de plomb, ni odeur d'osmium; il ne reste plus alors qu'à couler le métal.

Le platine obtenu de la sorte renferme de l'iridium et même du rhodium, mais cet alliage est supérieur au platine pur pour les divers usages industriels.

On peut, dans ce traitement, opérer sur 10 kilogrammes environ de minerai.

Si l'on veut avoir du platine parfaitement pur, il faut dissoudre le platine du commerce dans l'eau régale et y ajouter de la chaux à l'abri de la lumière; l'iridium se précipite à l'état d'oxyde, on filtre et l'on précipite le platine de la liqueur filtrée à l'aide du chlorure d'ammonium. On lave le précipité et on le calcine. Il reste du platine spongieux que l'on peut employer dans cet état pour préparer les divers composés platiniques.

On peut encore obtenir le platine sous la forme d'une poudre noire (noir de platine), en chauffant une solution alcoolique de potasse avec du tétrachlorure de platine jusqu'à cessation d'effervescence. La poussière noire qui se dépose doit être lavée à l'alcool, à l'acide chlorhydrique, à la potasse et finalement à l'eau.

Le platine agrégé est d'un blanc assez éclatant, qui n'atteint pourtant pas la blancheur de l'argent. Il occupe le troisième rang pour la ductilité et le cinquième pour la malléabilité. Un fil de platine de 2 millimètres de diamètre se rompt sous un poids de 124 kilogrammes.

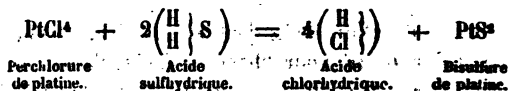
Le platine est plus dur que l'argent, mais il l'est moins que le cuivre et le fer; l'iridium augmente sa dureté; sa densité est de 21,47 lorsqu'il a été forgé, et seulement de 21,15 lorsqu'il a été fondu. On le rencontre dans la nature cristallisé en cubes, il est isomorphe avec l'iridium et l'osmium.

Le platine résiste à l'action des plus violents feux de forge, mais on le fond très-facilement à l'aide du chalumeau à gaz oxyhydrique; au rouge, il se soude à lui-même comme le fer:

Le platine ne s'oxyde à aucune température. L'acide azotique ne l'attaque pas; à moins qu'il ne soit allié avec de l'argent; l'eau régale le dissout en le faisant passer à l'état de tétrachlorure.

La potasse et la lithine déterminent l'oxydation du platine, il se

sous forme de précipités noirs, en faisant agir l'acide sulfhydrique sur les chlorures correspondants :



Ces sulfures se dissolvent dans les sulfures alcalins, et font par suite fonction d'anhydro-sulfides acides.

Enfin, on connaît deux oxydes de platine correspondants aux deux sulfures; le protoxyde PtO et le bioxyde PtO<sup>2</sup>. On les obtient par calcination ménagée des hydrates correspondants.

Au protoxyde répond un hydrate (hydrate au minimum) qui n'a point été analysé, sa formule probable est  $\text{Pt}^{\text{IV}} \left\{ \begin{array}{c} \text{H}^{\text{O}} \\ \text{H}^{\text{O}} \end{array} \right\} \text{O}^{\text{H}}$ ; quant à l'hydrate au maximum, qui répond au bioxyde, sa formule est  $\text{Pt}^{\text{IV}} \left\{ \begin{array}{c} \text{H}^{\text{O}} \\ \text{H}^{\text{O}} \end{array} \right\} \text{O}^{\text{H}}$ .

Le premier s'obtient par l'action de la potasse sur le perchlorure et le deuxième par l'action du même alcali sur le tétrachlorure; seulement ces oxydes étant solubles dans les alcalis, on doit ensuite précipiter la solution par l'acide acétique.

L'hydrogène typique de ces hydrates peut être remplacé, soit par des radicaux acides, il se forme alors des sels de platine; soit par des métaux alcalins, il se forme alors des platينات. Ces hydrates sont donc aussi bien des acides que des bases, et leurs anhydrides doivent être considérés comme des oxydes indifférents.

**Réactions des sels de platine.** Les sels de platine se reconnaissent aux caractères suivants :

1° L'acide chlorhydrique ne les précipite pas.

2° L'acide sulfhydrique y fait naître un précipité noir soluble dans les sulfures alcalins, insoluble dans les acides chlorhydrique et azotique employés séparément, et soluble dans l'eau régale.

3° Dans les liqueurs qui ne sont pas trop étendues, le chlorure d'ammonium et le chlorure de potassium font naître des précipités jaunes; même avec les liqueurs étendues le précipité se forme si l'on a soin d'ajouter un peu d'alcool.

## GÉNÉRALITÉS SUR LES MÉTAUX TÉTRATOMIQUES.

Nous avons vu que cette famille contient tous les corps dont l'atOMICITÉ est un peu douteuse. On peut, en effet, poser les questions que voici :

1° Pourquoi ne pas faire le fer, l'aluminium, le manganèse, le nickel, le cobalt et le chrome hexatomiques, en s'appuyant sur l'existence du fluorure de chrome  $\text{CrF}_6$  ?

2° Pourquoi ne pas suivre à l'égard du zinc, du cadmium, du magnésium, du calcium, du strontium, du baryum, du cuivre, du mercure, etc., le même raisonnement qu'à l'égard du nickel et ne pas envisager leur atOMICITÉ réelle comme égale à 4, leur atOMICITÉ apparente étant seulement 2 ? Ne pourrait-on faire valoir en faveur de cette opinion l'isomorphisme de leurs composés avec ceux du nickel, du cobalt, du fer au minimum, etc. ?

3° Pourquoi ne pas considérer le platine et le palladium comme ayant une atOMICITÉ réelle égale à 6, en se basant sur les analogies incontestables du platine et du palladium, et sur l'isomorphisme des composés du platine avec ceux de l'iridium ? Je répondrai successivement à ces trois questions.

1° Je ne tiens pas compte du fluorure de chrome  $\text{CrF}_6$ , parce que sa formule ne me paraît pas sûrement établie.

2° Je ne puis considérer le magnésium, le zinc, etc., comme tétratomiques. En effet, le mercure ne faisant pas partie de la série magnésienne, on ne peut rien invoquer pour porter à 4 son atOMICITÉ. Mais le cuivre a des analogies telles avec le mercure, qu'on ne peut se refuser à accorder à ces deux métaux une atOMICITÉ égale ; et l'isomorphisme des autres métaux magnésiens avec le cuivre nous entraîne à faire ces métaux diatomiques, tout comme leur isomorphisme avec le fer et le nickel nous entraîne à les considérer comme tétratomiques. Il est possible qu'on doive rapprocher quelques-uns d'entre eux du nickel plutôt que du cuivre ; mais nous n'avons aucune donnée pour le savoir, et, dès lors, nous sommes obligés de nous en tenir à l'atOMICITÉ apparente.

Du reste, l'isomorphisme de deux composés donnés ne permet pas de conclure à l'existence présumable de composés d'un ordre

supérieur à ceux que l'on reconnaît isomorphes. Ainsi, il ne serait point exact de dire : les sels de zinc sont isomorphes avec les sels de fer au minimum ; or, il existe des sels de fer au maximum, donc il doit exister des sels de zinc au maximum, ou, tout au moins, si ces sels sont instables, l'atomicité du zinc est néanmoins 4, comme celle du fer.

M. Marignac a montré, en effet, que deux corps sont isomorphes lorsqu'ils possèdent une constitution analogue, quelle que soit l'atomicité des corps simples qui y entrent. Ainsi, il a fait voir que les fluosels et les fluoxysels sont très-souvent isomorphes, bien que les seconds contiennent de l'oxygène, élément diatomique, à la place de 2 atomes de fluor, élément monatomique.

Dès lors, on conçoit très-bien que le sulfate de fer au minimum  $\left. \begin{matrix} \text{SO}_4 \\ \text{Fe} \end{matrix} \right\} \text{O}^s + 7 \text{H}^2\text{O}$  et le sulfate de zinc  $\left. \begin{matrix} \text{SO}_4 \\ \text{Zn} \end{matrix} \right\} \text{O}^s + 7 \text{H}^2\text{O}$  soient isomorphes, sans qu'on soit obligé d'admettre pour le zinc la même atomicité maxima que pour le fer.

5° Les considérations qui précèdent sur l'isomorphisme répondent également à la question relative à l'atomicité du platine. Certains composés de ce métal peuvent être isomorphes avec des composés au même degré formés par l'iridium, sans que l'atomicité du platine soit égale à 6. Néanmoins, je ne serais pas étonné si l'on découvrait un jour de nouveaux faits qui nous obligeassent à admettre l'hexatomicité du platine.

#### CINQUIÈME FAMILLE (MÉTAUX PENTATOMIQUES).

Jusqu'ici on ne connaît avec certitude aucun métal pentatomique.

#### SIXIÈME FAMILLE (MÉTAUX HEXATOMIQUES).

Nous avons vu que dans cette famille viennent se ranger le molybdène, le tungstène, l'iridium, le rhodium et le ruthénium. Aucun de ces métaux ne présente un intérêt suffisant pour que nous en fassions l'étude détaillée.

## GÉNÉRALITÉS SUR LES OXYDES.

**Préparation.** 1° Lorsque le corps que l'on veut oxyder jouit de la propriété de se combiner directement à l'oxygène atmosphérique, comme cela a lieu avec le soufre, le phosphore, le zinc, le fer, le potassium, etc., on prépare l'oxyde par combustion directe du corps à l'air.

2° Quand le corps que l'on veut oxyder ne se combine pas directement à l'oxygène, on le chauffe en présence d'agents oxydants, tels que l'acide azotique; il se produit alors soit un hydrate, si l'oxyde que l'on veut préparer est un anhydride acide, comme l'oxyde d'étain; soit un azotate, si cet acide est un anhydride basique, comme la plupart des oxydes métalliques. En calcinant, soit l'hydrate, soit l'azotate, on obtient l'oxyde anhydre.

3° On soumet à la calcination le carbonate du métal dont on veut avoir l'oxyde: il se dégage de l'anhydride carbonique, et l'oxyde reste comme résidu. Les carbonates alcalins et ceux de baryum et de strontium sont les seuls indécomposables par la chaleur.

4° On précipite un chlorure ou tout autre sel soluble par une base alcaline. Il se forme, soit un précipité d'oxyde, comme cela a lieu avec les sels d'argent et de mercure: il suffit alors de le recueillir et de le laver; soit un précipité d'hydrate, que l'on doit laver et calciner afin de le ramener à l'état d'oxyde anhydre; dans le cas du cuivre la simple ébullition du liquide suffit pour déshydrater l'hydrate cuivrique et pour le transformer en oxyde.

5° On chauffe un peroxyde dans un courant de gaz hydrogène pour le ramener à un état d'oxydation inférieur. On prépare de cette manière le protoxyde de manganèse à l'aide du peroxyde.

6° On obtient certains peroxydes par l'action de l'eau oxygénée sur les protoxydes.

**Classification.** On a rangé les oxydes en cinq classes:

1° Dans la première se rangent les *oxydes basiques*, ou mieux, selon l'expression actuelle, les *anhydrides basiques*.

2° Dans la deuxième sont classés les *oxydes acides*, ou mieux les *anhydrides acides*.

3° La troisième renferme les oxydes qui fonctionnent, tantôt

comme anhydrides acides, tantôt comme anhydrides basiques; on les nomme *oxydes indifférents*.

4° La quatrième classe contient des oxydes que l'on peut considérer comme de véritables sels, dans lesquels une partie du métal paraît substituée à l'hydrogène d'un hydrate du même corps faisant fonction d'acide; tel est l'oxyde magnétique de fer  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , que l'on peut envisager comme résultant de la substitution de 1 atome de fer à 2 d'hydrogène dans l'hydrate  $\text{Fe}^{2+} \left\{ \begin{array}{l} \text{H}_2 \\ \text{H}_2 \end{array} \right\} \text{O}_4$ . Ces oxydes ont reçu le nom d'*oxydes salins*.

5° Dans la cinquième classe, les chimistes placent des oxydes qui ne sont ni des anhydrides basiques ni des anhydrides acides, mais qui peuvent se transformer en anhydrides basiques par la perte d'une portion de leur oxygène, et quelquefois en anhydrides acides, par l'addition d'une nouvelle quantité d'oxygène: ce sont les *oxydes singuliers*.

A ces cinq classes, on devrait en ajouter une sixième, qui contiendrait tous les oxydes qui ne se rangent dans aucune des précédentes. De ce nombre seraient: l'oxyde de carbone, les oxydes azoteux et azotique, etc.

**Action des divers agents sur les oxydes.** 1° ACTION DE LA CHALEUR. — A l'exception des oxydes d'or, de platine, de rhodium, d'iridium, de palladium, de ruthénium, d'argent et de mercure, qui sont décomposables par la chaleur seule, les protoxydes métalliques résistent aux températures les plus élevées que nous puissions produire. Les oxydes plus élevés sont souvent ramenés à un degré d'oxydation inférieur.

Parmi les oxydes des métalloïdes, les uns résistent à l'action de la chaleur, les autres sont décomposés. L'eau se décompose sous l'influence de la chaleur seule à 2500°: cette décomposition a déjà lieu à une température bien plus basse, mais alors elle est incomplète et suit les lois de la dissociation.

2° ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ. — Le courant électrique décompose les oxydes lorsqu'il est suffisamment puissant. Tantôt les produits de la décomposition sont les deux éléments de l'oxyde, tantôt ces produits sont de l'oxygène et un oxyde moins oxygéné que le premier; ce second mode de décomposition se présente, par exemple avec l'anhydride carbonique, qui se transforme en oxyde de carbone et oxygène.

Les oxydes métalliques étant la plupart insolubles dans l'eau, et ceux qui s'y dissolvent passant à l'état d'hydrates, l'action de l'électricité sur ces corps n'a pu être tentée jusqu'ici. On le pourrait peut-être pour ceux d'entre eux qui sont fusibles, en les maintenant à l'état de fusion pendant le passage du courant. Il n'est, du reste, pas douteux que l'électricité ne les décomposât, puisqu'elle décompose les hydrates des plus stables d'entre eux.

5° ACTION DE L'OXYGÈNE. — L'oxygène, ou est sans action sur les oxydes, ou les fait passer à un état d'oxydation supérieur. On a un exemple de ce dernier mode d'action dans la transformation de l'oxyde azotique en hypoazotide, dans celle du protoxyde de baryum en bioxyde du même métal, et dans la combustion de l'oxyde de carbone.

4° ACTION DE L'HYDROGÈNE. — L'hydrogène est absolument sans action sur les protoxydes des métaux alcalins, alcalino-terreux et terreux. Sous l'influence d'une douce chaleur, il réduit au contraire les protoxydes de la plupart des autres métaux, en mettant le métal en liberté. Le protoxyde de manganèse résiste néanmoins très-bien à son action.

En agissant sur les peroxydes des métaux dont les protoxydes lui résistent, l'hydrogène ramène ces corps au minimum d'oxydation. C'est ainsi qu'à l'aide d'un courant d'hydrogène, on transforme le bioxyde de manganèse en protoxyde.

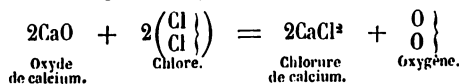
Certains oxydes supérieurs, comme le sesquioxyde de chrome, résistent cependant à l'action de l'hydrogène.

5° ACTION DU CARBONE. — Le carbone a une action réductrice plus puissante encore que celle de l'hydrogène; il s'empare de l'oxygène des oxydes pour former, soit de l'anhydride carbonique, soit de l'oxyde de carbone, et le radical de ces oxydes reste soit à l'état de liberté, soit à un état d'oxydation inférieur.

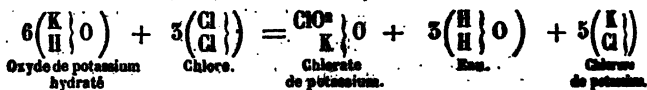
6° ACTION DU CHLORE. — Le chlore a peu d'action sur les oxydes métalloïdiques; tout au plus se combine-t-il avec quelques-uns d'entre eux qui ne sont pas saturés. Il peut aussi, en agissant sur ces derniers en présence de l'eau, les faire passer à un état supérieur d'oxydation.

Sur les oxydes métalliques le chlore agit différemment, selon que l'action se fait ou non en présence de l'humidité.

A sec, le chlore déplace l'oxygène et il se fait un chlorure ;



En présence de l'eau deux cas peuvent se présenter : tantôt il se fait un mélange de chlorure et de chlorate,



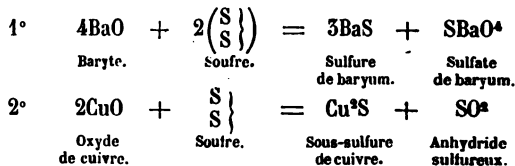
tantôt un mélange de chlorure et d'hypochlorite.



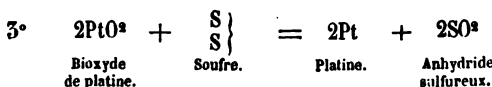
L'action du brome et de l'iode est tout à fait semblable à celle du chlore.

7° Action du soufre. — Les oxydes métalloïdiques renferment, soit un radical moins oxydable, soit un radical plus oxydable que le soufre. Dans le premier cas, le soufre s'empare de la totalité ou tout au moins d'une portion de l'oxygène de l'oxyde et ce dernier se trouve réduit. Dans le second cas, le soufre ne produit aucune réaction.

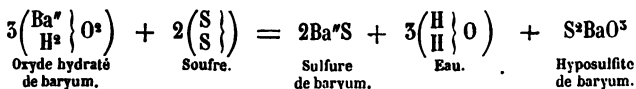
Lorsqu'on fait réagir le soufre sur les oxydes basiques, l'affinité du soufre pour le métal détermine la décomposition d'une portion de l'oxyde et il se forme un sulfure métallique. Une seconde partie du soufre s'unit à l'oxygène que l'oxyde a perdu. Il se produit ainsi une certaine quantité d'un anhydride acide, lequel, en réagissant sur une portion de l'anhydride basique non décomposé, fournit un sel oxygéné du soufre. Lorsqu'on opère par voie sèche et sous l'influence de la chaleur, si les sels oxygénés du soufre qui tendent à prendre naissance sont stables, ils se forment effectivement ; s'ils sont instables, tout l'oxygène s'élimine à l'état d'anhydride sulfureux et la totalité du métal reste à l'état de sulfure. Enfin, si le sulfure métallique lui-même est instable à la température où la réaction a lieu, il se produit seulement de l'anhydride sulfureux et du métal libre. Ces trois sortes de réaction sont exprimées par les équations suivantes :







Par voie humide il se fait un sulfure et un sel oxygéné du soufre comme dans la première réaction dont nous avons parlé, seulement au lieu d'un sulfate c'est ici un hyposulfite qui prend naissance :

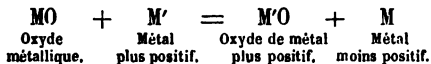


Le sélénium et le tellure présentent un parallélisme complet avec le soufre dans leurs réactions sur les oxydes.

8° ACTION DU PHOSPHORE. — L'action du phosphore est analogue à celle du soufre. Le phosphore s'empare de l'oxygène des oxydes métalloïques instables et ne réagit pas sur ceux qui présentent une certaine stabilité. Il décompose les oxydes métalliques avec formation d'un phosphure et d'un sel oxygéné. Lorsqu'on opère par voie sèche ce sel oxygéné est toujours un phosphate ; par voie humide, il se produit un hypophosphite et il se dégage de l'hydrogène phosphoré. On n'observe plus ici la formation d'un phosphure, parce que ces composés sont décomposables par l'eau.

A l'exception de l'azote, qui n'a aucune action sur les oxydes, les congénères du phosphore paraissent agir à la manière du phosphore lui même.

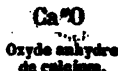
9° ACTION DES MÉTAUX. — Les oxydes métalliques sont décomposés par les métaux plus électropositifs que ceux qu'ils renferment : il se produit alors un simple déplacement :



Les oxydes métalloïdiques sont décomposés d'une manière analogue par les métaux, seulement l'oxyde métallique formé s'unit souvent à une portion restée intacte de l'oxyde négatif, et il se produit un sel oxygéné du métal.

10° ACTION DE L'EAU. — Directement ou indirectement, la plupart des oxydes sont susceptibles d'entrer en combinaison avec l'eau ou de donner lieu à un phénomène de double décomposition. Il se produit alors des corps qui ont reçu le nom d'hydrates. Ces hy-

drates représentent une molécule d'eau ou plusieurs molécules d'eau condensées en une seule et dans lesquelles une partie de l'hydrogène est remplacée par un autre radical. Dans les oxydes anhydres, au contraire, l'hydrogène est remplacé en totalité :

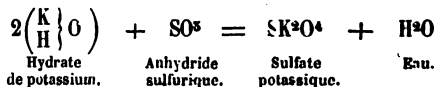


Certains oxydes singuliers, dont les protoxydes peuvent donner, sous l'influence de l'eau, des hydrates très-stables, sont décomposés par ce liquide et ramenés au minimum d'oxydation. Tel est le cas des peroxydes de potassium et de sodium.

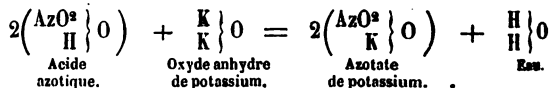
Enfin, certains oxydes non saturés peuvent décomposer l'eau en s'emparant de son oxygène.

A l'exception des oxydes alcalins et alcalino-terreux et de l'oxyde thalleux, tous les oxydes sont insolubles dans l'eau.

11° ACTION DES BASES. — Les bases n'agissent pas sur les anhydrides basiques; avec les anhydrides acides elles donnent naissance à un sel, et mettent de l'eau en liberté :



12° ACTION DES ACIDES. — Les acides sont sans action sur les anhydrides acides. En présence des anhydrides basiques, ils donnent des sels et mettent de l'eau en liberté :



Les divers genres salins résultant de l'action des anhydrides acides sur l'eau ou sur les bases méritent d'être étudiés séparément.

**Azotates.** Les azotates s'obtiennent en dissolvant les oxydes ou les carbonates métalliques dans l'acide azotique. Tous se décomposent par la chaleur en laissant pour résidu soit un oxyde métal-

lique; soit du métal à l'état de liberté, si l'oxyde est instable à chaud. Les azotates alcalins laissent un résidu d'azotite lorsqu'on les calcine modérément. Tous les azotates neutres sont solubles dans l'eau.

Les azotates déflagrent sur les charbons ardents.

Chauffés avec de l'acide sulfurique, ils dégagent des vapeurs qui ont l'odeur de l'acide azotique; ajoute-t-on du cuivre au mélange, il se produit de l'oxyde azotique qui, au contact de l'air, se transforme en vapeurs rouges d'hypoazotide.

Si l'on mêle un azotate en dissolution avec une dissolution de sulfate ferreux additionnée de beaucoup d'acide sulfurique, il se produit une coloration qui varie du rose au brun, selon la concentration de l'azotate.

Le sous-acétate de plomb en solution aqueuse donne, avec les azotates solubles, un précipité blanc très-peu soluble dans l'eau de sous-azotate de plomb répondant à la formule  $Pb \left\{ \begin{array}{l} OAzO^2 \\ OH \end{array} \right.$ .

**Azotites.** On obtient les azotites en chauffant modérément les azotates.

On ignore si les azotites donnent avec le sous-acétate de plomb un précipité de sous-azotite de plomb comme le font les azotates.

Ces sels jouissent comme les azotates, de la propriété de déflagrer sur les charbons ardents.

Avec l'acide sulfurique, ils donnent lieu à un développement de vapeurs rutilantes, sans que l'on soit obligé d'ajouter du cuivre au mélange.

Chauffés avec une solution de sel ammoniac, ils donnent un dégagement d'azote. Cet azote provient de la décomposition de l'azotite d'ammonium qui se forme d'abord.

Les azotites neutres sont tous solubles dans l'eau.

**Phosphates.** A l'exception des phosphates alcalins, tous les phosphates neutres sont insolubles. Les phosphates acides se dissolvent au contraire avec facilité.

La dissolution des phosphates donne avec l'azotate de baryum un précipité blanc soluble dans l'eau acidulée par de l'acide azotique ou chlorhydrique et insoluble dans une solution de sel ammoniac.

Les sels de plomb y produisent un précipité blanc de phosphate de plomb.

L'azotate d'argent y détermine un précipité jaune clair, soluble dans l'ammoniaque et dans l'acide azotique étendu.

Les sels de cuivre y forment un précipité bleu sale.

Les phosphates donnent un précipité grenu avec les sels doubles ammoniaco-magnésiens solubles.

Lorsqu'on chauffe un phosphate avec un excès d'une solution de molybdate d'ammonium additionnée d'acide azotique, il se dépose un précipité jaune de phospho-molybdate d'ammonium, complètement insoluble dans les liqueurs acides, mais facilement soluble dans l'ammoniaque. Cette réaction est fort sensible.

**Phosphites.** On obtient les phosphites solubles en saturant l'acide phosphoreux par les bases et les autres phosphites par double décomposition.

Les phosphites alcalins sont seuls solubles dans l'eau. La solution des phosphites réduit certains oxydes métalliques, surtout en présence de l'acide chlorhydrique. Le protoxyde rouge de mercure, par exemple, est ramené à l'état métallique. Les phosphites dégagent de l'hydrogène phosphoré par la calcination et se transforment en phosphates.

L'acide azotique et le chlore déterminent la même transformation. Chauffés avec une solution de molybdate d'ammonium dans l'acide chlorhydrique, les phosphites produisent une coloration bleue résultant de la réduction de l'acide molybdique.

**Hypophosphites.** On peut obtenir les hypophosphites en faisant chauffer du phosphore avec une base puissante en présence de l'eau.

Les hypophosphites se décomposent tous par la chaleur, en laissant un résidu de phosphate. L'acide azotique et le chlore produisent la même transformation.

Les hypophosphites réduisent aussi les sels de palladium, en déterminant un dépôt de palladium métallique.

La même réaction a lieu avec les sels d'argent. La liqueur dont s'est séparé le métal contient un phosphate en dissolution.

**Arséniates.** Les arséniates alcalins sont seuls solubles dans l'eau. Les sels de baryum donnent, avec les arséniates solubles, un précipité blanc d'arséniat de baryum, soluble dans l'eau acidulée et dans la solution de chlorhydrate d'ammonium.

L'hydrogène sulfuré transforme les arséniates en sulfo-arséniates. En saturant ensuite la liqueur par l'acide chlorhydrique,

on obtient un précipité jaune de sulfure d'arsenic, soluble dans les sulfures alcalins et dans l'ammoniaque. Avec l'acide arsénique libre, l'acide sulhydrique donne directement ce précipité, mais il est long à se former; la chaleur accélère sa formation.

L'azotate d'argent donne, avec les arsénites solubles, un précipité rouge brique d'arséniate d'argent.

Les sels de cuivre y déterminent la formation d'un précipité bleu sale.

Introduits dans l'appareil de Marsh, les arsénites donnent naissance à de l'hydrogène arsénié, par la combustion duquel on peut recueillir des taches d'arsenic.

**Arsénites.**— Les arsénites alcalins sont seuls solubles dans l'eau. La solution des arsénites, additionnée d'un peu d'acide chlorhydrique, donne immédiatement, sous l'influence de l'hydrogène sulfuré, un précipité jaune de trisulfure d'arsenic insoluble dans les acides et soluble dans les sulfures alcalins et dans l'ammoniaque.

Les sels de baryum produisent, dans la dissolution des arsénites, un précipité blanc, soluble dans l'acide chlorhydrique et dans le chlorure d'ammonium.

Les sels de cuivre donnent, avec les arsénites, un précipité d'arsénite de cuivre d'un beau vert qui se dissout en bleu dans la potasse; à chaud, cette solution laisse déposer de l'oxyde cuivreux rouge.

L'azotate d'argent y fait naître un précipité jaune clair d'arsénite d'argent soluble dans la potasse; la solution laisse déposer à chaud de l'argent sous forme de miroir.

Introduits dans l'appareil de Marsh, les arsénites donnent lieu à la même réaction que les arsénites.

**Sulfates.** On obtient les sulfates solubles en saturant l'acide sulfurique par les bases, et les sulfates insolubles par double décomposition.

Tous les sulfates neutres sont solubles, à l'exception de ceux de baryum, de strontium et de plomb, qui sont presque tout-à-fait insolubles, et du sulfate de calcium, qui exige 500 parties d'eau environ pour se dissoudre.

Les sulfates en dissolution dans l'eau donnent un précipité blanc avec les sels de calcium, de baryum, de strontium et de plomb; si les dissolutions étaient très-étendues, les sels de calcium ne seraient pas précipités.

Chauffés avec du charbon, les sulfates se transforment en sulfures et acquièrent, par conséquent, la propriété de noircir l'argent et de répandre l'odeur de l'acide sulfhydrique, sous l'influence des acides.

Quelques sulfates se décomposent par l'ébullition et laissent un sous-sulfate insoluble dans l'eau. Le sulfate de mercure est de ce nombre.

**Sulfites.** Les sulfites solubles peuvent être préparés en faisant passer un courant d'anhydride sulfureux dans de l'eau tenant une base en solution ou en suspension. Les autres sulfites s'obtiennent par double décomposition.

Les sulfites solubles et la dissolution d'anhydride sulfureux donnent, en présence des sels de baryum, un précipité blanc, soluble dans une liqueur acide; cette dissolution, traitée par le chlore, laisse déposer du sulfate de baryum.

Lorsqu'on chauffe un sulfite avec un acide relativement fixe et dénué d'action oxydante, il se dégage de l'anhydride sulfureux. On peut facilement reconnaître ce corps à son odeur et à la propriété qu'il a de bleuir un papier enduit d'empois d'amidon et mouillé avec une solution d'acide iodique.

Les sulfites solubles donnent, avec l'azotate d'argent, un abondant précipité blanc, soluble dans l'ammoniaque.

**Hyposulfates (dithionates).** On prépare les divers hyposulfates en précipitant l'hyposulfate de baryum par les sulfates solubles.

Les hyposulfates ne sont oxydés à froid ni par le chlore, ni par le bioxyde de manganèse; à l'ébullition, cet oxyde les fait passer à l'état de sulfates.

Lorsqu'on calcine un hyposulfate, il se dégage de l'anhydride sulfureux et il reste un sulfate pour résidu.

**Hyposulfites.** On obtient les hyposulfites en faisant bouillir les sulfites avec une quantité de soufre égale à celle qu'ils contiennent déjà.

Une dissolution d'un sel d'argent versée dans celle d'un hyposulfite y produit un précipité blanc, qui devient noir en se changeant en sulfure. Cette transformation est très-rapide à chaud.

Les hyposulfites traités par un acide énergique donnent lieu à un dégagement d'anhydride sulfureux et à un dépôt de soufre.

Les hyposulfites dissolvent avec facilité le chlorure, le bromure, l'iodure et le cyanure d'argent.

**Hydrosulfites.** On obtient les hydrosulfites en traitant les bisulfites par du zinc.

Ils se distinguent par leur pouvoir réducteur énergique. Ils précipitent la plupart des métaux lourds de leurs solutions. Ils décolorent l'indigo et la teinture de tournesol.

A l'air ils absorbent très-avidement l'oxygène en se transformant en bisulfites.

**Chlorates.** Les chlorates sont tous solubles dans l'eau ; ils déflagrent vivement lorsqu'on les projette sur des charbons ardents.

Mêlés avec des corps combustibles, comme le soufre ou le charbon, les chlorates détonent par le choc ou par la chaleur.

Les chlorates alcalins, soumis à l'influence de la chaleur, perdent de l'oxygène et laissent un résidu de chlorure ; les autres perdent à la fois du chlore et de l'oxygène, et laissent un oxychlorure pour résidu.

Traités par l'acide sulfurique, les chlorates donnent naissance à un gaz jaune fort détonant, le peroxyde de chlore, improprement connu sous le nom d'acide hypochlorique.

**Perchlorates.** On obtient les divers perchlorates en dissolvant les bases dans l'acide perchlorique.

Le perchlorate de potassium étant très-peu soluble à froid, il se fait un précipité cristallin toutes les fois qu'on mêle une solution d'un sel de potassium avec de l'acide perchlorique.

L'anhydride sulfureux et l'acide sulfhydrique sont sans action sur l'acide perchlorique et les perchlorates.

Fortement calcinés, les perchlorates perdent leur oxygène et laissent un chlorure pour résidu.

**Hypochlorites.** Les hypochlorites et l'anhydride hypochloreux ont la propriété de décolorer les substances organiques, mais ils la perdent quand on les mêle avec une dissolution d'anhydride arsénieux dans l'acide chlorhydrique étendu.

L'anhydride carbonique en excès dégage de l'anhydride hypochloreux en présence des hypochlorites, bien que la solution d'anhydride hypochloreux décompose les carbonates avec effervescence.

**Chlorites.** L'anhydride chloreux est un gaz jaune qui colore l'eau très-fortement en se dissolvant dans ce liquide.

L'anhydride chloreux et les chlorites décolorent les substances organiques ; ils conservent cette propriété en présence d'une solution d'anhydride arsénieux.

Les chlorites dégagent de l'anhydride chloroux sous l'influence d'un fort courant d'anhydride carbonique.

**Borates.** Les borates solubles se préparent en faisant agir l'acide borique sur les bases, et les borates insolubles par double décomposition.

Les sels solubles de baryum donnent, avec les borates, un précipité de borate de baryum, soluble dans l'acide chlorhydrique dilué, et dans la solution du chlorhydrate d'ammoniaque.

Les borates alcalins donnent une solution aqueuse qui, lorsqu'elle est saturée, est précipitée à froid par les acides. Le précipité qui se forme, et qui n'est autre que de l'acide borique, se dissout par l'ébullition de la liqueur. Lorsqu'on mélange un borate avec de l'acide sulfurique et de l'alcool, et qu'on enflamme l'alcool, ce dernier brûle avec une belle flamme verte.

**Carbonates.** A l'exception des carbonates alcalins, tous les carbonates sont insolubles et peuvent être obtenus par voie de double décomposition.

Les carbonates se décomposent facilement sous l'influence de la chaleur ; de l'anhydride carbonique se dégage et il reste un oxyde, ou, si celui-ci est instable, un métal libre pour résidu. Les carbonates alcalins et ceux de baryum et de strontium font seuls exception.

Les carbonates solubles donnent, avec les sels de baryum, un précipité blanc soluble avec effervescence dans les acides étendus.

En présence des acides, les carbonates donnent lieu à un dégagement d'anhydride carbonique qui blanchit l'eau de chaux.

**Silicates.** Les silicates alcalins, à grand excès de base, sont seuls solubles dans l'eau.

Les sels de baryum produisent dans leur dissolution un précipité blanc de silicate de baryum soluble dans l'acide chlorhydrique. Si l'on ajoute du sulfate potassique à la solution, afin d'éliminer le baryum, et qu'on filtre, la liqueur filtrée donne, avec l'ammoniaque, un précipité de silice gélatineuse.

Lorsqu'on verse de l'acide chlorhydrique dans la solution d'un silicate, il se produit un précipité de silice gélatineuse, soluble dans un excès d'acide, mais que l'on peut facilement séparer en évaporant à siccité et reprenant par l'eau. On obtient un précipité identique, mais insoluble dans un excès de réactif, lorsqu'on remplace l'acide chlorhydrique par le chlorure d'ammonium.



**Chromates.** Les chromates (chromates neutres) sont jaunes, les dichromates (chromates acides d'autrefois) sont rouges ou orangés. Les uns et les autres ont un pouvoir colorant considérable.

Les chromates solubles donnent avec les solutions métalliques des précipités dont plusieurs ont des teintes brillantes; de ce nombre est le précipité fourni par les sels de plomb, qui est d'un beau jaune.

Chauffés avec l'acide chlorhydrique en présence de l'alcool ou d'un autre corps réducteur quelconque, ces sels verdissent et il se forme du perchlorure de chrome hydraté.

Mêlés à du sel marin fondu et à de l'acide sulfurique, les chromates donnent un mélange qui fournit, lorsqu'on le distille, un liquide rougeâtre; ce liquide décomposé par l'eau ammoniacale colore en jaune la liqueur, qui précipite ensuite l'acétate de plomb.

**Hydrates.** Pour quelques métaux on les obtient en traitant les oxydes simplement par l'eau; dans d'autres cas, on est obligé de précipiter un sel soluble du métal par un hydrate soluble.

Les hydrates de certains métaux (argent, mercure) n'ont pu être préparés.

Les hydrates de métaux alcalins et alcalino-terreux et celui de thallium sont solubles.

Les hydrates solubles possèdent une réaction alcaline.

Les hydrates font presque tous la double décomposition avec les acides pour donner des sels.

Lorsqu'on les chauffe, ils perdent leur eau à des températures plus ou moins élevées, en donnant des anhydrides basiques; ceux des métaux alcalins font exception et ne perdent pas d'eau; celui de cuivre se déshydrate déjà à 100° et même au sein de l'eau.

## GÉNÉRALITÉS SUR LES SULFURES.

Les sulfures présentent les plus étroites analogies avec les oxydes et dans leurs propriétés et dans leurs fonctions.

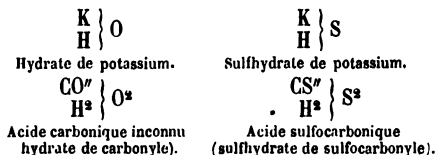
**Préparation.** 1° Comme les oxydes, beaucoup de sulfures peuvent être obtenus par l'union directe du soufre avec un autre corps. Ainsi, le carbone, l'arsenic, le cuivre, le fer, se combinent directement au soufre avec une grande énergie. Nous devons cependant faire remarquer que le zinc, qui s'unit si facilement à l'oxygène, n'a pour le soufre qu'une très-faible affinité.



Enfin il existe des sulfures qui renferment plus d'un atome de soufre pour 2 atomes électropositifs d'atomicité impaire ou pour un atome électropositif d'atomicité paire. On les a nommés polysulfures. Ces polysulfures perdent facilement une partie du soufre qu'ils contiennent ; on peut les considérer comme des sulfures singuliers correspondant aux oxydes singuliers. Il y a donc cinq classes de sulfures correspondant aux cinq classes d'oxydes :

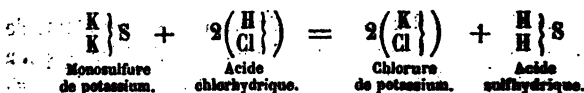
- 1° Les sulfures basiques, correspondant aux oxydes basiques ;
- 2° Les sulfures acides, correspondant aux oxydes acides ;
- 3° Les sulfures indifférents, correspondant aux oxydes indifférents ;
- 4° Les sulfures salins, correspondant aux oxydes salins ;
- 5° Les sulfures singuliers, correspondant aux oxydes singuliers.

Tous les sulfures dont il vient d'être question, peuvent être considérés comme dérivant de l'acide sulfhydrique simple ou condensé dans lequel l'hydrogène est remplacé soit par un corps simple, soit par un radical sulfuré ; ainsi le sulfure de potassium s'écrira  $\left. \begin{matrix} K \\ K \end{matrix} \right\} S$ , le sulfure de baryum  $Ba^m S$ , le bisulfure de baryum  $BaS^m S$  ; etc. Il existe aussi, comme nous l'avons déjà vu, d'autres composés qui représentent de l'acide sulfhydrique dont la moitié seulement de l'hydrogène est remplacé par un corps simple ou par un radical sulfuré, et qui ont reçu le nom de sulfhydrates. Ils correspondent aux hydrates, et, comme ces derniers, constituent tantôt des acides, tantôt des bases :

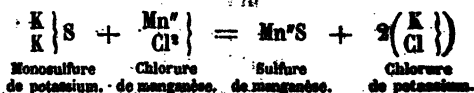


Les sulfures métalliques possèdent des réactions qui permettent de les reconnaître facilement et même de distinguer un monosulfure d'un polysulfure et d'un sulfhydrate.

Tous les monosulfures métalliques, solubles ou non, dégagent à des températures plus ou moins élevées de l'acide sulfhydrique sous l'influence des acides non oxydants, et cela sans qu'il se produise un *dépôt de soufre*.



Lorsqu'ils sont solubles, les monosulfures donnent avec le chlorure de manganèse bien neutre un précipité couleur de chair de sulfure de manganèse sans dégagement d'acide sulfhydrique.



Les sulfhydrates donnent avec les acides la même réaction que les monosulfures.



Mais en présence du chlorure de manganèse, ils développent de l'acide sulfhydrique en même temps qu'ils donnent naissance à un précipité de sulfure de manganèse.



Quant aux polysulfures, ils précipitent les sels de manganèse sans dégager d'acide sulfhydrique, mais en présence des acides ils donnent à la fois et de l'acide sulfhydrique et un dépôt de soufre.

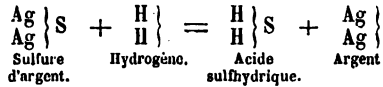


La chaleur et l'électricité agissent sur les sulfures comme sur les oxydes.

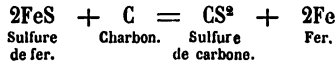
**Action des réactifs.** 1° ACTION DU SOUFRE. — Le soufre agit sur les sulfures comme l'oxygène sur les oxydes; c'est-à-dire que tantôt son action est nulle et que tantôt il les fait passer à un degré de sulfuration supérieur.

2° ACTION DE L'HYDROGÈNE. — L'hydrogène ayant pour le soufre une affinité bien moins vive que pour l'oxygène, doit nécessaire-

ment réduire plus difficilement les sulfures que les oxydes ; il existe pourtant des sulfures qui cèdent leur soufre à l'hydrogène et qui se réduisent à la manière des oxydes. Le sulfure d'argent est du nombre.



3° ACTION DU CARBONE. — Le carbone agit sur les sulfures comme sur les oxydes, c'est-à-dire qu'il réduit ces corps en donnant naissance à du sulfure de carbone.

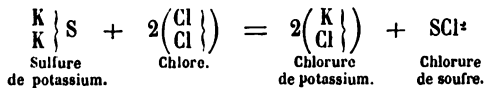


Cette réaction est toutefois beaucoup moins fréquente qu'avec les oxydes.

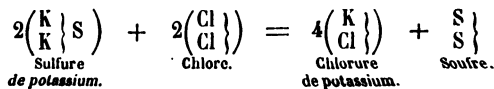
4° ACTION DU CHLORE. — Par voie sèche le chlore agit sur les sulfures comme sur les oxydes. De même qu'avec ces derniers composés il donne un chlorure en mettant de l'oxygène en liberté, de même ici il déplace le soufre et donne naissance à un chlorure ; la seule différence consiste en ceci : l'oxygène n'ayant à chaud aucune affinité pour le chlore, reste libre lorsqu'on le déplace au moyen de ce métalloïde, tandis que le soufre qui peut se combiner au chlore est éliminé à l'état de chlorure de soufre.

Par voie humide le chlore déplace encore le soufre, mais alors ce métalloïde reste à l'état de liberté au lieu de se combiner au chlore. Ce mode de réaction se conçoit aisément si l'on songe que les divers chlorures de soufre sont décomposables par l'eau, et par suite ne peuvent prendre naissance dans des conditions où ils se détruiraient s'ils étaient tout formés.

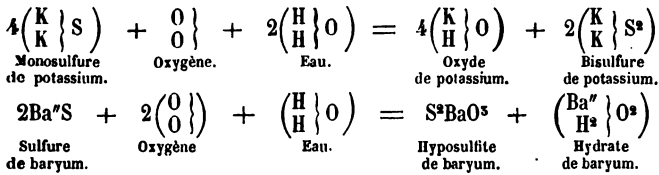
RÉACTION PAR VOIE SÈCHE.



RÉACTION PAR VOIE HUMIDE.

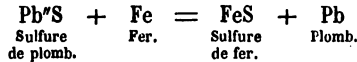




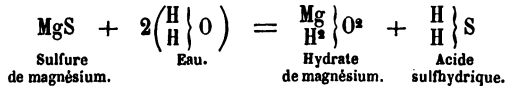


Toutes ces réactions présentent le parallélisme le plus parfait avec celles qui résultent de l'action du soufre sur les oxydes.

6° ACTION DES MÉTAUX. — Lorsqu'on fait agir un métal sur un sulfure métallique et que ce métal a pour le soufre plus d'affinité que celui qui est combiné à ce corps, il s'empare du soufre et l'autre métal est mis en liberté.



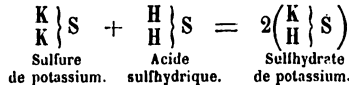
7° ACTION DE L'EAU. — Certains sulfures comme le sulfure de magnésium décomposent l'eau avec production d'un hydrate et d'hydrogène sulfuré.



D'autres sulfures peuvent se combiner à l'eau, mais à chaud l'eau est décomposée et il se forme comme dans le cas précédent un oxyde et de l'hydrogène sulfuré.

Enfin, la plupart des sulfures sont sans action sur l'eau.

8° ACTION DE L'ACIDE SULFHYDRIQUE. — L'acide sulfhydrique fait la double décomposition avec les sulfures alcalins et donne naissance à un sulfhydrate qui est une sulfobase ; cette réaction est analogue à celle qui se produit lorsqu'on met en présence l'eau et un oxyde alcalin anhydre.



Sur la plupart des autres sulfures l'acide sulfhydrique paraît n'exercer aucune action.

9° ACTION DES ANHYDROSULFIDES ACIDES. — Ils se combinent aux anhydrosulfides basiques, ou font avec eux la double décomposition et il se forme des *sulfosels*.

10° ACTION DES ANHYDROSULFIDES BASIQUES. — Ils se combinent aux anhydrosulfides acides, ou font avec eux la double décomposition et donnent naissance à des sulfosels.

On voit que l'action des réactifs sur les sulfures présente les plus étroites analogies avec l'action des réactifs sur les oxydes. Pour mieux faire ressortir ces analogies, nous mettrons en regard dans le tableau suivant, ces diverses réactions.

### PARALLÈLE ENTRE LES SULFURES ET LES OXYDES.

#### Sulfures.

#### Oxydes.

ACTION DE LA CHALEUR. — Elle les réduit ou ne les attaque pas.

ACTION DE LA CHALEUR. — Elle les réduit ou ne les attaque pas.

ACTION DU SOUFRE. — Il les persulfure ou n'a aucune action.

ACTION DE L'OXYGÈNE. — Il les peroxyde ou n'a aucune action.

ACTION DE L'HYDROGÈNE. — Il les réduit :

ACTION DE L'HYDROGÈNE. — Il les réduit :

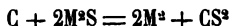


ou ne les modifie pas du tout.

ou ne les modifie pas du tout.

ACTION DU CARBONE. — Cette action est réductrice ou nulle. L'action réductrice s'exprime par la formule générale :

ACTION DU CARBONE. — Cette action est réductrice ou nulle. L'action réductrice s'exprime par la formule générale :



ACTION DU CHLORE. — Il s'empare de l'élément électropositif et met le soufre en liberté, seulement l'excès de chlore s'unit au soufre déplacé.

ACTION DU CHLORE. — Il s'empare de l'élément électropositif et met l'oxygène en liberté.

ACTION DE L'OXYGÈNE. — Par voie sèche et selon le degré de stabilité des composés qui peuvent prendre naissance, il se forme : soit de l'anhydride sulfureux et un oxyde, soit de l'anhydride sulfureux et un métal, soit un sulfate ; par voie humide, il se

ACTION DU SOUFRE. — Par voie sèche et selon le degré de stabilité des composés qui peuvent prendre naissance, il se forme, soit de l'anhydride sulfureux et un sulfure, soit de l'anhydride sulfureux et un métal, soit un sulfate ; par voie



produit un mélange d'oxyde hydraté et d'hyposulfite.

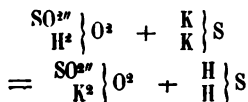
**ACTION DES MÉTAUX.** — Les métaux les plus positifs déplacent ceux qui le sont moins.

**ACTION DE L'ACIDE SULFHYDRIQUE.** — Cet acide produit, tantôt des sulfhydrates acides, tantôt des sulfhydrates basiques, tantôt des sulfhydrates indifférents, tantôt il ne produit rien.

**ACTION DES ANHYDROSULFIDES BASIQUES.** — Ils réagissent sur les anhydrosulfides acides et donnent des sulfosels.

**ACTION DES ANHYDROSULFIDES ACIDES.** — Ils réagissent sur les anhydrosulfides basiques pour former des sulfosels.

**ACTION DES ACIDES.** — Ils réagissent sur les sulfures métalliques basiques en donnant de l'hydrogène sulfuré et un sel :



humide, il se produit un sulfure et un hyposulfite.

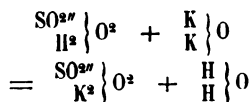
**ACTION DES MÉTAUX.** — Les métaux les plus positifs déplacent ceux qui le sont moins.

**ACTION DE L'EAU.** — Tantôt elle produit des hydrates acides, tantôt des hydrates basiques, tantôt des hydrates indifférents, tantôt elle ne produit rien.

**ACTION DES ANHYDRIDES BASIQUES.** — Ils réagissent sur les anhydrides acides et donnent des sels.

**ACTION DES ANHYDRIDES ACIDES.** — Ils réagissent sur les anhydrides basiques pour former des sels.

**ACTION DES ACIDES.** — Ils réagissent sur les anhydrides basiques en donnant naissance à de l'eau et à un sel.

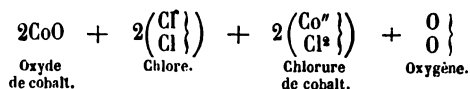


## GÉNÉRALITÉS SUR LES CHLORURES.

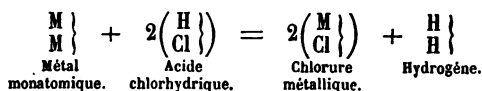
**Préparation.** On peut obtenir les chlorures :

1° En brûlant dans le chlore les éléments que l'on veut combiner à ce métalloïde. On peut préparer de cette manière les chlorures de phosphore, d'arsenic, d'antimoine, de soufre, d'étain, de cuivre, de fer..., etc.

2° En faisant passer un courant de chlore sur les oxydes anhydres ; l'oxygène est alors déplacé. On applique cette méthode à la préparation des chlorures de nickel et de cobalt.

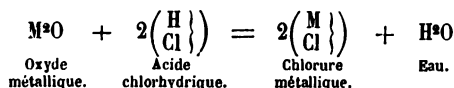


5° En faisant agir l'acide chlorhydrique sur les métaux.

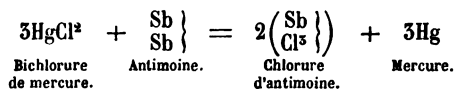


4° En soumettant à l'action de l'eau régale les éléments que l'on veut chlorurer.

5° En faisant agir l'acide chlorhydrique sur les oxydes. Il se forme de l'eau dans la réaction.



6° En chauffant un corps simple avec le chlorure d'un autre corps simple moins avide de chlore que lui. On obtient, par exemple, du chlorure d'antimoine en chauffant l'antimoine avec du chlorure de mercure.



**Classification.** Partant de ce fait que certains chlorures se combinent entre eux en formant des chlorures doubles, quelques chimistes, qui n'admettent pas la théorie atomique, ont assimilé cette réaction à la combinaison des anhydrides basiques oxygénés avec les anhydrides acides. Ils ont, par suite, appliqué aux chlorures la même classification qu'aux oxydes, et admis l'existence de chlorures acides, basiques, indifférents et salins.

Les idées nouvelles sont contraires à cette manière de voir : le chlore monatomique ne saurait donner des réactions analogues à celles que donne l'oxygène diatomique. Les chlorures doubles ne sont pas de vraies combinaisons atomiques. On ne peut les expliquer qu'en les considérant comme des combinaisons moléculaires analogues aux composés qui renferment de l'eau de cristallisation. Considérés comme des composés atomiques, leur existence ne rentrerait plus dans les lois générales de l'atomicité des éléments, ou

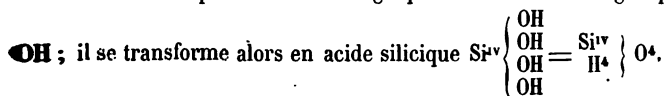
**tout** au moins elle nous obligerait à considérer l'atonicité du chlore **comme** égale à trois, ce qui est possible, mais n'est pas encore **fondé** sur des preuves suffisantes.

La classification des chlorures que l'on trouve dans presque tous les ouvrages élémentaires ne peut donc plus être conservée; nous **y** substituerons celle qu'a proposée Gerhardt et qui consiste à **ranger** les chlorures en deux classes : celle des *chlorures négatifs* et **celle** des *chlorures positifs*.

Les chlorures négatifs sont ceux qui donnent naissance à des **acides** en perdant leur chlore et en prenant le résidu OH en **échange** de ce métalloïde.

Les chlorures positifs sont ceux qui, par une substitution **analogue**, produisent des bases.

Ainsi, le chlorure de silicium  $\text{SiCl}_4$  peut perdre ses quatre **atomes** de chlore et prendre en échange quatre molécules du groupe



C'est un chlorure négatif.

Le perchlorure de fer donne, au contraire, une base, lorsqu'on **remplace** ses 6 atomes de chlore par 6 fois le résidu OH. C'est un **chlorure** positif.

**Caractères distinctifs des chlorures.** Tous les chlorures **sont** solubles dans l'eau à l'exception des chlorures d'argent et de **mercure** au minimum qui ne s'y dissolvent pas du tout, du **chlorure** de plomb qui s'y dissout à peine à froid, du chlorure cuivreux **et** du chlorure thalleux qui se dissolvent peu.

L'acide chlorhydrique et les chlorures solubles sont précipités en **blanc** par l'azotate d'argent. Le précipité est cailleboté, il se **rassemble** facilement et noircit à la lumière. Il est soluble dans l'**ammoniaque**, le cyanure de potassium et l'hyposulfite de sodium; les **acides** ne le dissolvent pas.

L'azotate mercurieux produit dans la solution des chlorures un **précipité** blanc de chlorure mercurieux; l'ammoniaque ne dissout **pas** le précipité, mais le noircit et le transforme en un dérivé **amidé** de l'oxyde mercurieux.

Les chlorures chauffés avec de l'acide sulfurique et du **bichromate** de potassium donnent un liquide rouge qui n'est autre que

le chlorure de chromyle  $\text{CrO}^2\text{Cl}^2$ . Ce liquide, saturé par l'ammoniaque, reste coloré en jaune par suite de la formation du chromé d'ammonium.

### GÉNÉRALITÉS SUR LES BROMURES, LES IODURES ET LES FLUORURES.

Tous les développements que nous avons donnés à l'occasion de la préparation, des propriétés et de la classification des chlorures, s'appliquent également à ces trois genres salins; il ne nous reste à indiquer ici que les caractères distinctifs de chacun d'eux.

**Bromures.** A l'exception des bromures d'argent et de mercure au minimum, qui sont insolubles, du bromure de plomb, du bromure thalleux et du bromure cuivreux, qui se dissolvent à peine, tous les bromures sont solubles dans l'eau.

L'acide bromhydrique et les bromures solubles donnent, avec l'azotate d'argent, un précipité blanc jaunâtre caillé et bété de bromure d'argent, qui noircit promptement à la lumière. Ce précipité se dissout dans l'ammoniaque, le cyanure de potassium et l'hyposulfite de sodium; sa solubilité dans l'ammoniaque est cependant beaucoup moindre que celle du chlorure.

Si l'on verse de l'eau chlorée dans la solution d'un bromure, le brome est mis en liberté; en agitant la liqueur avec de l'éther, celui-ci dissout le brome et vient se rassembler par le repos en une couche brune qui nage à la surface du liquide.

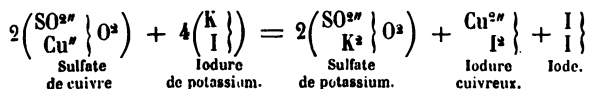
En chauffant un bromure avec un mélange d'acide sulfurique et de peroxyde de manganèse, on donne lieu à un dégagement de brome facilement reconnaissable à l'odeur et à la couleur.

**Iodures.** Le nombre des iodures insolubles est bien supérieur à celui des chlorures et des bromures qui jouissent de la même propriété.

Les iodures solubles et l'acide iodhydrique donnent, avec l'azotate d'argent, un précipité blanc jaunâtre d'iodure d'argent. Ce précipité est très-peu soluble dans l'ammoniaque, mais se dissout facilement dans la solution du cyanure de potassium ou de l'hyposulfite de sodium.

Les iodures donnent en présence du sulfate de cuivre un précipité grisâtre d'iodure cuivreux soluble dans l'ammoniaque.

l'hyposulfite de sodium et le cyanure de potassium, en même temps une certaine quantité d'iode devient libre selon l'équation.



L'azotate de palladium détermine dans la solution des iodures la formation d'un précipité noir très-peu soluble.

Lorsqu'on verse de l'empois d'amidon dans la dissolution d'un iodure, et que l'on ajoute ensuite quelques gouttes d'eau chlorée pour mettre l'iode en liberté, l'amidon prend une belle teinte bleue caractéristique. Si l'on ajoutait trop de chlore, l'iode passerait à l'état de chlorure d'iode ou d'acide iodique et la coloration bleue disparaîtrait. On pourrait alors la faire reparaitre en faisant dégager un peu d'hydrogène dans la liqueur au moyen du zinc et de l'acide sulfurique.

Si l'on agite la dissolution d'un iodure avec du sulfure de carbone, après avoir mis l'iode en liberté au moyen de l'eau de chlore, le sulfure de carbone se colore en violet.

Les iodures produisent un précipité rouge dans les solutions des sels mercuriques. Ce précipité est soluble dans un excès de l'un ou de l'autre des deux précipitants.

Chauffés avec de l'acide sulfurique, les iodures dégagent de belles vapeurs violettes d'iode.

**Fluorures.** Les fluorures solubles et l'acide fluorhydrique produisent, dans la dissolution des sels de baryum, un précipité blanc de fluorure de baryum, qui se dissout lorsqu'on additionne la liqueur d'un peu d'acide chlorhydrique ou d'acide azotique.

L'azotate de calcium donne un précipité insoluble dans l'acide acétique, mais soluble dans l'acide azotique.

Lorsqu'on chauffe un fluorure avec de l'acide sulfurique concentré et de la silice, il se dégage du gaz fluorure de silicium qui, au contact de l'eau, donne un précipité de silice gélatineuse.

Un fluorure soumis, à une douce chaleur, à l'action de l'acide sulfurique, dégage de l'acide fluorhydrique qui attaque le verre.

## APPENDICE

### HYPOTHÈSE DE PROUT

Depuis longtemps les philosophes ont admis que la matière est une, et que les nombreuses substances que nous voyons n'en sont que les diverses manifestations, manifestations dont la diversité tiendrait au degré de condensation. Cette idée rendant fort bien compte de ce fait, que la pesanteur agit également sur tous les corps, et répondant d'ailleurs à l'idée que nous faisons à tort ou à raison de la simplicité des grandes lois de la nature, s'est introduite dans la science. Il y a même peu de temps, un chimiste anglais, Graham, admettait, dans des spéculations sur la constitution de la matière, que les atomes chimiques sont formés par une agglomération de particules plus petites qu'eux, toutes identiques, auxquelles il donne le nom d'ultimates; ces ultimates seraient animées de mouvements vibratoires dont la longueur variable d'un corps à l'autre serait cause des différences que l'on observe entre les divers corps.

Au commencement de ce siècle, un chimiste anglais, Prout, voulut donner de cette théorie de l'unité de substance une preuve expérimentale. Il prétendit que *les poids atomiques de tous les corps simples sont des multiples exacts du poids atomique de l'hydrogène*. De là à considérer tous les corps comme des polymères de l'hydrogène il n'y avait qu'un pas.

L'hypothèse de Prout était du nombre de celles dont il n'est pas

plus facile de démontrer l'exactitude que la fausseté, surtout à l'époque où elle fut émise ; le poids atomique de l'hydrogène étant très-petit relativement à celui des métaux lourds, on ne pouvait guère savoir si les différences observées étaient réelles ou tenaient à des erreurs d'observation.

Cependant les méthodes analytiques se perfectionnant, les causes d'incertitude diminuaient, et il devint bientôt évident que, telle qu'elle avait été énoncée, l'hypothèse de Prout était inadmissible.

Pour faire cadrer l'hypothèse avec les faits, M. Dumas en modifia l'énoncé, et, dans un mémoire publié par lui en 1859, il admit que *les poids atomiques de tous les corps sont des multiples exacts de celui d'un corps inconnu qui aurait un poids atomique quatre fois plus petit que l'hydrogène*, ou, ce qui revient au même : *que les poids atomiques de tous les corps sont des multiples exacts de celui de l'hydrogène multiplié par 1, par 0,50 ou par 0,25.*

L'hypothèse de Prout étant indépendante de l'unité adoptée, et pouvant être admise vis-à-vis d'un corps qui n'aurait plus d'existence réelle, tout aussi bien que vis-à-vis de l'hydrogène, ce nouvel énoncé suffisait aux partisans de l'unité de substance.

Après le mémoire de M. Dumas, la question semblait résolue en faveur de l'hypothèse de Prout, mais en 1860 M. Stas publia des recherches sur l'azote, le chlore, le soufre, le potassium, le plomb et l'argent, recherches faites avec une précision extraordinaire, inconnue jusque-là et dont la conclusion était : « *Il n'existe aucun commun diviseur entre les poids des corps simples qui s'unissent pour former des combinaisons définies, et la loi de Prout est une pure illusion.* »

M. Marignac, sans contester la valeur de ces nouvelles recherches, sur l'exactitude desquelles il appuya même beaucoup, souleva une objection. « Si, dit-il, dans les combinaisons chimiques stables, les éléments constituants n'étaient pas invariablement et exactement dans le rapport de leurs poids atomiques, toutes les méthodes les plus exactes d'analyse ou de synthèse donneraient avec la même inexactitude le rapport de ces poids. »

C'était mettre en question toute la chimie, car l'idée d'atomes ou d'équivalents est fondée sur la loi des proportions définies, envisagée non comme loi limite, mais comme loi mathématique.

L'argument de M. Marignac n'était cependant pas sans fondement. La constance de composition des combinaisons dites stables pou-

vait bien, il est vrai, être considérée comme prouvée d'après toutes les analyses du siècle, mais les rapports en poids que les éléments affectent dans une combinaison restent-ils les mêmes lorsque ces éléments entrent dans des combinaisons nouvelles? Voilà ce qui avait été plutôt admis par intuition que d'après des preuves absolument rigoureuses. Wenzel, il est vrai, avait fixé cette loi sur la constance de la neutralité des dissolutions salines qui se précipitent, mais la conservation de la neutralité, constatée par les papiers réactifs, n'était certainement pas une preuve suffisante.

M. Stas, dans un important mémoire qu'il a présenté le 14 juillet 1865 à l'Académie des sciences de Bruxelles, relate une série d'expériences propres à résoudre en même temps que le problème posé par Proust le problème posé par M. Marignac.

Il a d'abord démontré, en précipitant de l'azotate d'argent par du chlorure d'ammonium, et en se servant de chlorure d'ammonium préparé à diverses températures et sous des pressions variables, que le rapport proportionnel de l'argent au chlorure d'ammonium reste constant. La température n'exerce donc aucune action sur la composition du chlorure d'argent, et la température, pas plus que la pression, n'influencent la composition du chlorure ammoniac. *La constance de composition des corps stables* est ainsi démontrée.

M. Stas a démontré aussi *l'invariabilité des rapports en poids des éléments qui forment les combinaisons chimiques*. Il a vu, en effet, que l'iodate, le bromate et le chlorate d'argent se transforment sous l'influence de l'anhydride sulfureux en iodure, chlorure et bromure d'argent, sans que la moindre parcelle d'iode ou d'argent devienne libre. Il ne peut en être ainsi qu'à la condition que le rapport de l'argent au métalloïde halogène soit le même dans les composés binaires et dans les composés ternaires de ce métal, ce qu'il s'agissait de démontrer. Si, en effet, dans deux corps AB et ABC le rapport  $\frac{A}{B}$  n'était pas le même, ABC ne pourrait se transformer en AB qu'en perdant une partie de A ou de B.

Après avoir ainsi solidement démontré la loi fondamentale sur laquelle repose la chimie tout entière, M. Stas a déterminé avec beaucoup de soin les poids atomiques d'un certain nombre de corps. Il s'est servi pour cela de méthodes tout à fait nouvelles et d'une grande précision. Il a toujours déduit le poids atomique d'un



élément donné des composés formés par cet élément avec plusieurs corps différents. Il a ainsi donné un contrôle à ses nombres, et en même temps il a fourni une preuve de plus, indirecte, il est vrai, mais puissante, de l'invariabilité des rapports en poids des éléments qui forment les combinaisons chimiques.

Le cadre de cet ouvrage ne nous permet pas de nous étendre avec détails sur ces expériences importantes. Nous en donnerons seulement le résultat.

Si l'on fait l'oxygène arbitrairement égal à . . . . .	16,000
L'argent a pour poids atomique. . . . .	107,930
L'azote. . . . .	14,044
Le brome. . . . .	79,952
Le chlore . . . . .	35,457
L'iode . . . . .	126,850
Le lithium . . . . .	7,022
Le potassium. . . . .	39,137
Le sodium . . . . .	23,043

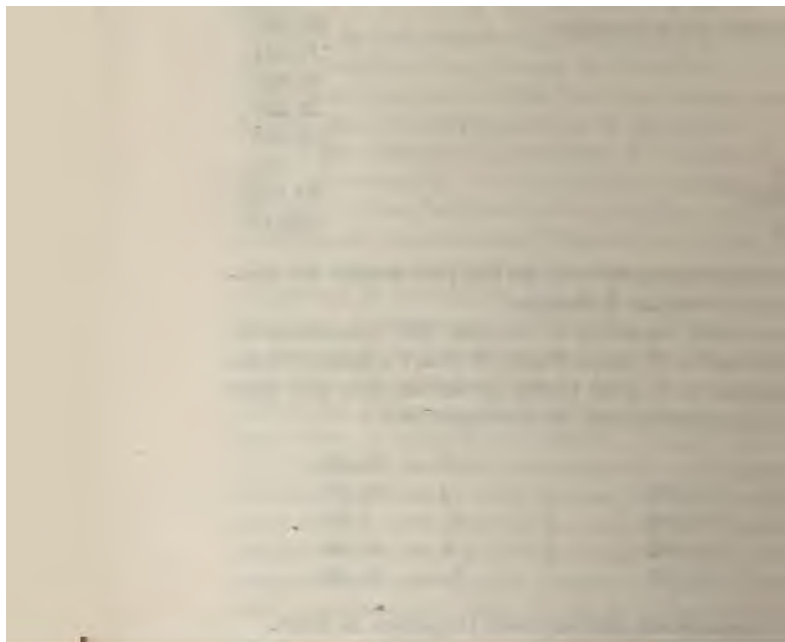
nombres qui s'accordent avec ceux que l'on peut déduire des expériences faites en 1843 par M. Marignac

Ces nombres sont rapportés à l'oxygène fait, avons-nous dit, arbitrairement égal à 16; mais, d'après M. Stas, l'oxygène n'est pas 16; si l'hydrogène = 1, il est 15,960. Ils doivent donc tous subir une réduction proportionnelle. Ils deviennent alors :

H = 1	Cl = 35,368
O = 15,960	I = 126,533
Ag = 107,660	Li = 7,004
Az = 14,009	K = 39,040
Br = 79,750	Na = 22,980

Ces chiffres renversent définitivement l'hypothèse de Prout.

Faut-il s'en lamenter au point de vue de l'hypothèse de l'unité de substance? Nullement. Cette hypothèse n'en est pas diminuée. Les ultimates qui forment un atome peuvent être inimaginablement petits; or, supposons que Il en renferme 1000, O 15,960, Ag 107,660, etc., on se rend compte des poids atomiques de M. Stas sans sortir de l'idée que la manière est une. D'ailleurs, l'idée de l'unité de matière dût-elle être abandonnée, peu impor-



H  
K  
E  
H

# TABLE DES MATIÈRES

## PREMIÈRE PARTIE

### GÉNÉRALITÉS

<b>Notions préliminaires.</b> . . . . .	1
Matière, corps. . . . .	<i>ib.</i>
Molécules. . . . .	<i>ib.</i>
Atomes. . . . .	2
Définition de la chimie. . . . .	<i>ib.</i>
Mélanges, combinaisons. . . . .	4
Actions qui favorisent la production des combinaisons. . . . .	<i>ib.</i>
1° <i>Chaleur</i> . . . . .	<i>ib.</i>
2° <i>Lumière</i> . . . . .	<i>ib.</i>
5° <i>Électricité</i> . . . . .	<i>ib.</i>
4° <i>État naissant</i> . . . . .	5
5° <i>Action de masse</i> . . . . .	<i>ib.</i>
6° <i>Catalyse</i> . . . . .	6
7° <i>Propriétés électives</i> . . . . .	<i>ib.</i>
Cohésion, affinité. . . . .	7
Loi des proportions multiples. . . . .	<i>ib.</i>
Loi de Gay-Lussac sur les combinaisons des gaz en volumes. . . . .	8
<b>Cristallographie, propriétés optiques.</b> . . . . .	<i>ib.</i>
CRISTALLOGRAPHIE. . . . .	<i>ib.</i>
Première classe de systèmes cristallins (arêtes perpendiculaires). . . . .	10
<i>Premier système</i> . . . . .	<i>ib.</i>
<i>Deuxième système</i> . . . . .	<i>ib.</i>
<i>Troisième système</i> . . . . .	<i>ib.</i>
Deuxième classe de systèmes cristallins (arêtes inclinées). . . . .	<i>ib.</i>
<i>Quatrième système</i> . . . . .	<i>ib.</i>
<i>Cinquième système</i> . . . . .	<i>ib.</i>
<i>Sixième système</i> . . . . .	<i>ib.</i>
PROPRIÉTÉS OPTIQUES. . . . .	12
<b>Équivalents.</b> . . . . .	13
Détermination des équivalents. . . . .	14
Loi de Mitscherlich. . . . .	17
<b>Théorie atomique.</b> . . . . .	18
POIDS MOLÉCULAIRES. . . . .	19

## TABLE DES MATIÈRES.

Leur détermination dans le cas où les substances sont volatiles (type de Ne et de Longpré et d'Empédocle) . . . . .	1
Leur détermination dans le cas où les substances ne sont pas volatiles . . . . .	2
Discussion des données de vapeurs dites anormales; dissociation . . . . .	3
Vérification des poids moléculaires trouvés par les méthodes précédentes . . . . .	4
<b>Types isomères . . . . .</b>	<b>5</b>
Leur détermination par la pesée en substance . . . . .	6
Leur détermination par la densité moléculaire (gaz de Dulong et Petit) . . . . .	7
Table des poids atomiques et des équivalents . . . . .	7 et 8
<b>Notions, formules et dépendances chimiques . . . . .</b>	<b>8</b>
Convention relative à la notation . . . . .	8
Exercices de la notation . . . . .	9
<b>Radicaux, atomocité des radicaux . . . . .</b>	<b>10</b>
Définition des radicaux . . . . .	10
Atomocité des radicaux . . . . .	11
Comment on doit concevoir les radicaux composés . . . . .	12
Hypothèse de Berzelius pour expliquer l'atomocité . . . . .	13
Critique de cette hypothèse . . . . .	14
<b>Types moléculaires . . . . .</b>	<b>15</b>
Notions sur ceux . . . . .	15
Type hydrogène . . . . .	16
Type acide chlorhydrique . . . . .	16
Type eau . . . . .	17
Type ammoniac . . . . .	17
Types condensés . . . . .	18
Discussion de la théorie des types . . . . .	19
<b>Sels, acides, bases . . . . .</b>	<b>20</b>
Définition des acides . . . . .	20
Définition des bases . . . . .	21
Définition des sels . . . . .	21
<b>Constitution des sels . . . . .</b>	<b>22</b>
Constitution des sels halogènes . . . . .	22
Constitution des sels amphides . . . . .	23
<b>Sels neutres, sels acides, sels basiques, sels doubles . . . . .</b>	<b>24</b>
Atomocité des acides . . . . .	24
Atomocité des bases . . . . .	25
Sels neutres . . . . .	25
Sels acides . . . . .	26
Sels basiques . . . . .	26
Sels doubles . . . . .	27
Anhydro-sels . . . . .	28
Basicité des acides . . . . .	28
<b>Lois de Berthollet . . . . .</b>	<b>29</b>
Exposition de ces lois . . . . .	29
Théorie de ces lois . . . . .	30
Loi de M. Malaguti . . . . .	31
<b>Action de l'électricité sur les sels . . . . .</b>	<b>32</b>
<b>Nomenclature . . . . .</b>	<b>33</b>
Noms des corps simples . . . . .	33

NOMS DES COMPOSÉS BINAIRES. . . . .	77
Règle générale. . . . .	<i>ib.</i>
Première exception. . . . .	78
<i>Les composés sont hydrogénés et fortement acides.</i> . . . .	<i>ib.</i>
<i>Les composés sont hydrogénés et neutres.</i> . . . .	79
<i>Les composés sont hydrogénés et faiblement acides.</i> . . . .	<i>ib.</i>
Deuxième exception. . . . .	<i>ib.</i>
Troisième exception. . . . .	<i>ib.</i>
Quatrième exception. . . . .	80
NOMS DES COMPOSÉS TERNAIRES. . . . .	81
Les sels sont oxygénés. . . . .	<i>ib.</i>
<i>Formation du nom de genre.</i> . . . .	<i>ib.</i>
<i>Formation du nom spécifique.</i> . . . .	82
Les sels ne sont pas oxygénés. . . . .	<i>ib.</i>
Acides, bases. . . . .	85
NOMS DES COMPOSÉS QUATERNAIRES. . . . .	<i>ib.</i>
Il y a un seul radical négatif et deux radicaux positifs. . . . .	<i>ib.</i>
Il y a un seul radical positif et deux radicaux négatifs. . . . .	84
Il y a un seul radical positif et un seul radical négatif ternaire. . . . .	<i>ib.</i>
NOMS DES CORPS QUI CONTIENNENT PLUS DE QUATRE ÉLÉMENTS. . . . .	<i>ib.</i>
<b>Solubilité.</b> . . . .	85
SOLUBILITÉ DES SOLIDES. . . . .	<i>ib.</i>
Première loi. . . . .	86
Deuxième loi. . . . .	<i>ib.</i>
Troisième loi. . . . .	<i>ib.</i>
Quatrième loi. . . . .	<i>ib.</i>
Courbes de solubilité. . . . .	87
Planche de courbes de solubilité. . . . .	88
Détermination de la solubilité d'un corps. . . . .	89
<i>Première méthode.</i> . . . .	<i>ib.</i>
<i>Deuxième méthode.</i> . . . .	90
Dissolutions sursaturées. . . . .	91
SOLUBILITÉ DES GAZ. . . . .	92
<b>Eau d'interposition, eau de cristallisation, eau de constitution.</b> . . . .	94
Eau d'interposition. . . . .	<i>ib.</i>
Eau de cristallisation. . . . .	<i>ib.</i>
Eau de constitution. . . . .	96
<b>Polymorphisme, allotropie, isomérie.</b> . . . .	97
POLYMPHISME. . . . .	<i>ib.</i>
ALLOTROPIE. . . . .	98
ISOMÉRIE. . . . .	<i>ib.</i>
Première classe. Isoméries par composition équivalentes. . . . .	99
Deuxième classe. Isoméries par métamérie. . . . .	100
Troisième classe. Isoméries par polymérie. . . . .	<i>ib.</i>
Quatrième classe. Isoméries proprement dites. . . . .	<i>ib.</i>
Kénomérie. . . . . (en note).	<i>ib.</i>
<b>Classification.</b> . . . .	101
MÉTALLOÏDES ET MÉTAUX. . . . .	102
Subdivision des métalloïdes. . . . .	<i>ib.</i>
<i>Première famille.</i> . . . .	<i>ib.</i>

<i>Deuxième famille.</i> . . . . .	202
<i>Troisième famille.</i> . . . . .	20.
<i>Quatrième famille.</i> . . . . .	20.
<i>Cinquième famille.</i> . . . . .	20.

## DEUXIÈME PARTIE

## ÉTUDES DES CORPS SIMPLES ET DE LEURS PRINCIPAUX COMPOSÉS

## MÉTALLOÏDES

<b>PREMIÈRE FAMILLE.</b> . . . . .	105
Chlore . . . . .	20.
Brome . . . . .	105
Combinaisons de chlore avec le carbone . . . . .	20.
<b>Iode.</b> . . . . .	20.
COMBINAISONS DE L'IODE AVEC LE CHLORE ET LE BROME . . . . .	107
Chlorures d'iode . . . . .	20.
Bromures d'iode . . . . .	108
<b>Fluor.</b> . . . . .	20.
<b>Hydrogène.</b> . . . . .	20.
COMBINAISONS DE L'HYDROGÈNE AVEC LE CHLORE, LE BROME, L'IODE ET LE FLUOR . . . . .	115
Acide chlorhydrique . . . . .	20.
<i>Analyse de l'acide chlorhydrique.</i> . . . . .	114
<i>Synthèse de l'acide chlorhydrique.</i> . . . . .	115
Acide bromhydrique . . . . .	116
Acide iodhydrique . . . . .	117
Acide fluorhydrique . . . . .	118
GÉNÉRALITÉS SUR LES MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES . . . . .	119
<b>DEUXIÈME FAMILLE.</b> . . . . .	120
<b>Oxygène.</b> . . . . .	20.
Ozone . . . . .	125
COMBINAISONS DE L'OXYGÈNE AVEC L'HYDROGÈNE . . . . .	128
Eau . . . . .	20.
<i>Analyse de l'eau.</i> . . . . .	20.
<i>Synthèse de l'eau par l'eudiomètre.</i> . . . . .	129
<i>Synthèse de l'eau par le procédé de M. Dumas.</i> . . . . .	130
Eau oxygénée ou bioxyde d'hydrogène . . . . .	134
COMBINAISONS DE L'OXYGÈNE AVEC LE CHLORE . . . . .	135
Anhydride hypochloreux . . . . .	20.
Anhydride chloreux . . . . .	137
Péroxyde de chlore . . . . .	138
Acide chlorique . . . . .	139
Acide perchlorique . . . . .	141
COMBINAISONS OXYGÉNÉES DU BROME . . . . .	145
Acide hypobromeux . . . . .	20.
Acide bromique . . . . .	20.
Acide perbromique . . . . .	144

COMBINAISONS OXYGÉNÉES DE L'IODE. . . . .	144
Hypo-iodites. . . . .	<i>ib.</i>
Anhydride et acide iodiques. . . . .	<i>ib.</i>
Acide periodique. . . . .	146
<b>Soufre.</b> . . . .	148
Etats allotropiques du soufre. . . . .	149
COMBINAISONS DU SOUFRE AVEC LES MÉTALLOÏDES PRÉCÉDEMMENT ÉTUDIÉS. . . . .	151
Combinaisons du soufre avec l'hydrogène. . . . .	<i>ib.</i>
Acide <i>sulphydrique</i> . . . . .	<i>ib.</i>
Bisulfure d'hydrogène. . . . .	153
Chlorures de soufre. . . . .	154
Combinaisons du soufre avec l'oxygène. . . . .	<i>ib.</i>
Acide <i>hydrosulfureux</i> . . . . .	155
Anhydride <i>sulfureux</i> . . . . .	<i>ib.</i>
Acide <i>sulfurique</i> . . . . .	158
Acide <i>sulfurique de Nordhausen</i> . . . . .	161
Anhydride <i>sulfurique</i> . . . . .	162
Série <i>thionique</i> . . . . .	163
Acide <i>dithionique</i> . . . . .	<i>ib.</i>
Acide <i>trithionique</i> . . . . .	164
Acide <i>tétrathionique</i> . . . . .	<i>ib.</i>
Acide <i>pentathionique</i> . . . . .	<i>ib.</i>
Hyposulfites. . . . .	165
<b>Sélénium.</b> . . . .	<i>ib.</i>
Combinaison avec l'hydrogène. . . . .	167
Acide <i>sélénydrique</i> . . . . .	<i>ib.</i>
Combinaisons du sélénium avec l'oxygène. . . . .	<i>ib.</i>
Combinaison du sélénium avec le soufre. . . . .	<i>ib.</i>
<b>Tellure.</b> . . . .	<i>ib.</i>
GÉNÉRALITÉS SUR LA FAMILLE DES MÉTALLOÏDES DIATOMIQUES. . . . .	168
<b>Composés oxygénés.</b> . . . .	169
<b>Composés sulfurés.</b> . . . .	<i>ib.</i>
<b>Composés séléniés.</b> . . . .	170
<b>Composés tellurés.</b> . . . .	<i>ib.</i>
<b>TROISIÈME FAMILLE.</b> . . . .	171
<b>Bore.</b> . . . .	<i>ib.</i>
COMBINAISONS DU BORE AVEC LES MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES. . . . .	173
Chlorure et bromure de bore. . . . .	<i>ib.</i>
Fluorure de bore. . . . .	174
COMBINAISONS DU BORE AVEC LES MÉTALLOÏDES DIATOMIQUES. . . . .	175
COMBINAISONS DU BORE AVEC LES MÉTALLOÏDES TÉTRA ET PENTATOMIQUES. . . . .	176
<b>QUATRIÈME FAMILLE</b> . . . . .	<i>ib.</i>
<b>Silicium.</b> . . . .	<i>ib.</i>
COMBINAISONS DU SILICIUM AVEC LES MÉTALLOÏDES PRÉCÉDEMMENT ÉTUDIÉS. . . . .	178
Chlorures de silicium. . . . .	<i>ib.</i>
Bromure de silicium. . . . .	180
Iodures de silicium. . . . .	<i>ib.</i>
Iodoforme silicié. . . . .	<i>ib.</i>
Fluorure de silicium. . . . .	181
Hydrogène silicié. . . . .	182

<i>Deuxième famille.</i> . . . . .	102
<i>Troisième famille.</i> . . . . .	<i>ib.</i>
<i>Quatrième famille.</i> . . . . .	<i>ib.</i>
<i>Cinquième famille.</i> . . . . .	<i>ib.</i>

## DEUXIÈME PARTIE

## ÉTUDES DES CORPS SIMPLES ET DE LEURS PRINCIPAUX COMPOSÉS

## MÉTALLOÏDES

<b>PREMIÈRE FAMILLE.</b> . . . . .	103
<b>Chlore.</b> . . . . .	<i>ib.</i>
<b>Brome.</b> . . . . .	106
Combinaisons du chlore avec le brome. . . . .	<i>ib.</i>
<b>Iode.</b> . . . . .	<i>ib.</i>
COMBINAISONS DE L'IODE AVEC LE CHLORE ET LE BROME. . . . .	107
Chlorures d'iode. . . . .	<i>ib.</i>
Bromures d'iode. . . . .	108
<b>Fluor.</b> . . . . .	<i>ib.</i>
<b>Hydrogène.</b> . . . . .	<i>ib.</i>
COMBINAISONS DE L'HYDROGÈNE AVEC LE CHLORE, LE BROME, L'IODE ET LE FLUOR. . . . .	113
Acide chlorhydrique. . . . .	<i>ib.</i>
<i>Analyse de l'acide chlorhydrique.</i> . . . . .	114
<i>Synthèse de l'acide chlorhydrique.</i> . . . . .	115
Acide bromhydrique. . . . .	116
Acide iodhydrique. . . . .	117
Acide fluorhydrique. . . . .	118
GÉNÉRALITÉS SUR LES MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES. . . . .	119
<b>DEUXIÈME FAMILLE.</b> . . . . .	120
<b>Oxygène.</b> . . . . .	<i>ib.</i>
Ozone. . . . .	125
COMBINAISONS DE L'OXYGÈNE AVEC L'HYDROGÈNE. . . . .	128
Eau. . . . .	<i>ib.</i>
<i>Analyse de l'eau.</i> . . . . .	<i>ib.</i>
<i>Synthèse de l'eau par l'eudiomètre.</i> . . . . .	129
<i>Synthèse de l'eau par le procédé de M. Dumas.</i> . . . . .	130
Eau oxygénée ou bioxyde d'hydrogène. . . . .	134
COMBINAISONS DE L'OXYGÈNE AVEC LE CHLORE. . . . .	135
Anhydride hypochloreux. . . . .	<i>ib.</i>
Anhydride chloreux. . . . .	137
Peroxyde de chlore . . . . .	138
Acide chlorique. . . . .	139
Acide perchlorique. . . . .	141
COMBINAISONS OXYGÉNÉES DU BROME. . . . .	143
Acide hypobromeux. . . . .	<i>ib.</i>
Acide bromique. . . . .	<i>ib.</i>
Acide perbromique. . . . .	144



COMBINAISONS OXYGÉNÉES DE L'IODE. . . . .	144
Iypo-iodites. . . . .	<i>ib.</i>
Anhydride et acide iodiques. . . . .	<i>ib.</i>
Acide periodique. . . . .	148
<b>Soufre. . . . .</b>	148
Etats allotropiques du soufre. . . . .	149
COMBINAISONS DU SOUFRE AVEC LES MÉTALLOÏDES PRÉCÉDEMMENT ÉTUDIÉS. . . . .	151
Combinaisons du soufre avec l'hydrogène. . . . .	<i>ib.</i>
Acide <i>sulphydrique</i> . . . . .	<i>ib.</i>
Bisulfure d'hydrogène. . . . .	153
Chlorures de soufre. . . . .	154
Combinaisons du soufre avec l'oxygène. . . . .	<i>ib.</i>
Acide <i>hydro-sulfureux</i> . . . . .	155
Anhydride <i>sulfureux</i> . . . . .	<i>ib.</i>
Acide <i>sulfurique</i> . . . . .	158
Acide <i>sulfurique de Nordhausen</i> . . . . .	161
Anhydride <i>sulfurique</i> . . . . .	162
Série <i>thionique</i> . . . . .	163
Acide <i>dithionique</i> . . . . .	<i>ib.</i>
Acide <i>trithionique</i> . . . . .	164
Acide <i>tétrathionique</i> . . . . .	<i>ib.</i>
Acide <i>pentathionique</i> . . . . .	<i>ib.</i>
Hyposulfites. . . . .	165
<b>Sélénium. . . . .</b>	<i>ib.</i>
Combinaison avec l'hydrogène. . . . .	167
Acide <i>sélenhydrique</i> . . . . .	<i>ib.</i>
Combinaisons du sélénium avec l'oxygène. . . . .	<i>ib.</i>
Combinaison du sélénium avec le soufre. . . . .	<i>ib.</i>
<b>Tellure. . . . .</b>	<i>ib.</i>
GÉNÉRALITÉS SUR LA FAMILLE DES MÉTALLOÏDES DIATOMIQUES. . . . .	168
<b>Composés oxygénés. . . . .</b>	169
<b>Composés sulfurés. . . . .</b>	<i>ib.</i>
<b>Composés sélénisés. . . . .</b>	170
<b>Composés tellurisés. . . . .</b>	<i>ib.</i>
<b>TROISIÈME FAMILLE. . . . .</b>	171
<b>Bore. . . . .</b>	<i>ib.</i>
COMBINAISONS DU BORE AVEC LES MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES. . . . .	173
Chlorure et bromure de bore. . . . .	<i>ib.</i>
Fluorure de bore. . . . .	174
COMBINAISONS DU BORE AVEC LES MÉTALLOÏDES DIATOMIQUES. . . . .	175
COMBINAISONS DU BORE AVEC LES MÉTALLOÏDES TÉTRA ET PENTATOMIQUES. . . . .	176
<b>QUATRIÈME FAMILLE. . . . .</b>	<i>ib.</i>
<b>Silicium. . . . .</b>	<i>ib.</i>
COMBINAISONS DU SILICIUM AVEC LES MÉTALLOÏDES PRÉCÉDEMMENT ÉTUDIÉS. . . . .	178
Chlorures de silicium. . . . .	<i>ib.</i>
Bromure de silicium. . . . .	180
Iodures de silicium. . . . .	<i>ib.</i>
Iodoforme silicié. . . . .	<i>ib.</i>
Fluorure de silicium. . . . .	181
Hydrogène silicié. . . . .	182

Anhydride silicique.....	192
Sulfure de silicium.....	195
<b>Carbone.....</b>	<b>19.</b>
Diamant.....	198
Graphite.....	19.
Coke.....	197
Charbon de bois.....	19.
Noir animal.....	198
Noir de fumée.....	19.
Charbon de sucre.....	199
Charbon de cornues à gaz.....	19.
COMBINAISONS DU CARBONE AVEC LES MÉTALLOÏDES PRÉCÉDEMMENT ÉTUDIÉS.....	19.
Oxyde de carbone.....	19.
Anhydride carbonique.....	191
Sulfure de carbone.....	195
Oxysulfure de carbone.....	19.
<b>Étain.....</b>	<b>194</b>
COMBINAISONS DE L'ÉTAÏN AVEC LES MÉTALLOÏDES PRÉCÉDEMMENT ÉTUDIÉS.....	195
Protochlorure d'étain.....	196
Perchlorure d'étain.....	19.
Bromures d'étain.....	19.
Iodures d'étain.....	19.
Fluorures d'étain.....	19.
Prot oxyde d'étain.....	197
Anhydride stannique.....	198
Acide stannique.....	19.
Acide métastannique.....	199
Sulfures d'étain.....	199
<b>Zirconium, titane, thorium.....</b>	<b>19.</b>
<b>GÉNÉRALITÉS SUR LES MÉTALLOÏDES TÉTRATOMIQUES.....</b>	<b>19.</b>
<b>CINQUIÈME FAMILLE.....</b>	<b>204</b>
<b>Azote.....</b>	<b>205</b>
COMBINAISONS DE L'AZOTE AVEC LES MÉTALLOÏDES PRÉCÉDEMMENT ÉTUDIÉS.....	205
Ammoniaque.....	19.
Chlorure, bromure et iode d'azote.....	208
Composés oxygénés de l'azote.....	19.
Oxyde azoteux.....	209
Oxyde azotique.....	210
Anhydride azoteux et azotites.....	212
Hypoazotide.....	19.
Anhydride azotique.....	214
Acide azotique.....	19.
<b>Phosphore.....</b>	<b>217</b>
Modification allotropique du phosphore.....	220
COMBINAISONS DU PHOSPHORE AVEC LES MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES.....	221
Hydrogène phosphoré gazeux.....	19.
Phosphure d'hydrogène liquide.....	225
Phosphure d'hydrogène solide.....	19.
Chlorures, bromures et iodures de phosphore.....	221
COMPOSÉS OXYGÉNÉS DU PHOSPHORE.....	226

Acide hypophosphoreux. . . . .	226
Acide phosphoreux. . . . .	227
Anhydride phosphorique. . . . .	<i>ib.</i>
Acide phosphorique. . . . .	<i>ib.</i>
<i>Acide phosphorique normal.</i> . . . .	<i>ib.</i>
<i>Acide pyrophosphorique.</i> . . . .	228
<i>Acide métaphosphorique.</i> . . . .	229
<i>Tableau des acides phosphoriques.</i> . . . .	22) et 250
Théorie des acides du phosphore. . . . .	231
COMBINAISONS DU PHOSPHORE AVEC LE SOUFRE. . . . .	232
<b>Arsenic.</b> . . . .	<i>ib.</i>
COMBINAISONS DE L'ARSENIC AVEC LES MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES. . . . .	233
Hydrogène arsenié. . . . .	<i>ib.</i>
Arséniure d'hydrogène solide. . . . .	234
Combinaisons de l'arsenic avec le chlore, le brome et l'iode. . . . .	<i>ib.</i>
<i>Chlorure d'arsenic.</i> . . . .	<i>ib.</i>
<i>Bromure d'arsenic.</i> . . . .	<i>ib.</i>
<i>Iodure d'arsenic.</i> . . . .	235
COMPOSÉS OXYGÉNÉS DE L'ARSENIC. . . . .	<i>ib.</i>
Anhydride arsénieux. . . . .	<i>ib.</i>
Anhydride arsénique. . . . .	236
<i>Acide arsénique.</i> . . . .	<i>ib.</i>
<i>Acide pyroarsénique.</i> . . . .	<i>ib.</i>
<i>Acide méta-arsénique.</i> . . . .	<i>ib.</i>
COMBINAISONS DE L'ARSENIC AVEC LE SOUFRE. . . . .	237
APPAREIL DE MARSH. . . . .	<i>ib.</i>
<b>Antimoine.</b> . . . .	258
COMBINAISON DE L'ANTIMOINE AVEC L'HYDROGÈNE. . . . .	259
COMBINAISONS DE L'ANTIMOINE AVEC LE CHLORE, LE BROME ET L'IODE. . . . .	240
Chlorures d'antimoine. . . . .	<i>ib.</i>
Bromure et iodure d'antimoine. . . . .	<i>iv.</i>
COMBINAISONS DE L'ANTIMOINE AVEC L'OXYGÈNE. . . . .	<i>ib.</i>
Protoxyde d'antimoine. . . . .	<i>ib.</i>
Anhydride antimonique. . . . .	241
<i>Acide antimonique.</i> . . . .	242
<i>Acide méta-antimonique.</i> . . . .	<i>ib.</i>
Oxyde d'antimoine intermédiaire. . . . .	245
COMBINAISONS DE L'ANTIMOINE AVEC LE SOUFRE. . . . .	<i>ib.</i>
Trisulfure d'antimoine. . . . .	<i>ib.</i>
Pentasulfure d'antimoine. . . . .	<i>ib.</i>
Kermès. . . . .	<i>ib.</i>
<b>Bismuth.</b> . . . .	245
<b>Uranium.</b> . . . .	246
Sesquioxyde d'uranium. . . . .	247
CONSIDÉRATIONS SUR LA CONSTITUTION DES SELS. . . . .	248
Caractères distinctifs des sels d'uranium. . . . .	252
GÉNÉRALITÉS SUR LES MÉTALLOÏDES PENTATOMIQUES. . . . .	255
<b>APPENDICE AUX MÉTALLOÏDES.</b> . . . .	255
AIR ATMOSPHÉRIQUE. . . . .	<i>ib.</i>
Analyse de l'air de Lavoisier. . . . .	<i>ib.</i>

Analyse de l'air par le phosphore . . . . .	23
Analyse de l'air par le cuivre et les acides . . . . .	23
Procédé par l'acide pyrogallique et la potasse . . . . .	23
Procédé eudiométrique . . . . .	23
Procédé de MM. Dumas et Boussingault . . . . .	23
Preuves que l'air est un mélange et non une combinaison . . . . .	23

## MÉTAUX.

<b>CLASSIFICATION.</b> . . . . .	23
<b>Classification de Thénard.</b> . . . . .	23
<b>PREMIÈRE SECTION.</b> . . . . .	23
Métaux dont les oxydes sont indécomposables par la chaleur seule . . . . .	23
<i>Première classe.</i> . . . . .	23
<i>Deuxième classe.</i> . . . . .	23
<i>Troisième classe.</i> . . . . .	23
<i>Quatrième classe.</i> . . . . .	23
<i>Cinquième classe.</i> . . . . .	23
<b>DEUXIÈME SECTION.</b> . . . . .	23
Métaux dont les oxydes sont décomposables par la chaleur seule . . . . .	23
<i>Sixième classe.</i> . . . . .	23
<i>Septième classe.</i> . . . . .	23
<b>CRITIQUE DE LA CLASSIFICATION DE THÉNARD.</b> . . . . .	23
<b>Classification rationnelle.</b> . . . . .	23
<i>Première classe. Métaux monatomiques.</i> . . . . .	23
<i>Deuxième classe. Métaux diatomiques.</i> . . . . .	23
<i>Troisième classe. Métaux triatomiques.</i> . . . . .	23
<i>Quatrième classe. Métaux tétratomiques.</i> . . . . .	23
<i>Cinquième classe. Métaux pentatomiques.</i> . . . . .	23
<i>Sixième classe. Métaux hexatomiques.</i> . . . . .	23
<b>DISCUSSION DE LA CLASSIFICATION ADOPTÉE.</b> . . . . .	23
<b>PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES MÉTAUX.</b> . . . . .	267
<b>Alliages.</b> . . . . .	269
<b>PREMIÈRE FAMILLE</b> . . . . .	23
<b>Potassium</b> . . . . .	23
<b>COMBINAISONS DU POTASSIUM AVEC LES MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES</b> . . . . .	270
Chlorure de potassium . . . . .	271
Iodure de potassium . . . . .	271
Bromure de potassium . . . . .	272
<b>COMPOSÉS DU POTASSIUM AVEC LES MÉTALLOÏDES POLYATOMIQUES.</b> . . . . .	271
Protoxyde de potassium . . . . .	271
Hydrate de potassium (potasse caustique) . . . . .	273
Carbonate neutre de potassium . . . . .	274
Bicarbonate de potassium . . . . .	276
Azotate de potassium . . . . .	276
Chlorate de potassium . . . . .	278
Hypochlorite de potassium . . . . .	279
Sulfate neutre de potassium . . . . .	280
Bisulfate de potassium . . . . .	280
Monosulfure de potassium . . . . .	281

Caractères des sels potassiques. . . . .	281
<b>Medium</b> . . . . .	282
Chlorure de sodium . . . . .	<i>ib.</i>
Sulfate neutre de sodium. . . . .	287
Bisulfate de sodium . . . . .	288
Carbonate neutre de sodium. . . . .	<i>ib.</i>
Bicarbonate de sodium . . . . .	290
Sesquicarbonate de sodium. . . . .	<i>ib.</i>
Hydrate de sodium. . . . .	<i>ib.</i>
Azotate de sodium. . . . .	<i>ib.</i>
Borate de sodium . . . . .	291
Hyposulfite de sodium . . . . .	293
Hypochlorite de sodium. . . . .	294
Caractères des sels sodiques. . . . .	<i>ib.</i>
<b>Lithium, rubidium, césium</b> . . . . .	<i>ib.</i>
<b>Argent</b> . . . . .	295
COMBINAISONS DE L'ARGENT AVEC LES MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES. . . . .	297
Chlorure d'argent . . . . .	<i>ib.</i>
Bromure d'argent . . . . .	299
Iodure d'argent . . . . .	<i>ib.</i>
COMBINAISONS DE L'ARGENT AVEC LES MÉTALLOÏDES DIATOMIQUES. . . . .	300
Sulfure d'argent. . . . .	<i>ib.</i>
Protoxyde d'argent. . . . .	<i>ib.</i>
Azotate d'argent. . . . .	301
Caractères des sels d'argent. . . . .	302
<b>APPENDICE AUX MÉTAUX MONATOMIQUES.</b> . . . .	305
<b>Combinaisons ammoniacales</b> . . . . .	<i>ib.</i>
Monosulfure et sulphydrate d'ammonium . . . . .	<i>ib.</i>
Chlorure d'ammonium . . . . .	304
Sulfate d'ammonium . . . . .	306
Carbonates d'ammonium. . . . .	<i>ib.</i>
Azotate d'ammonium. . . . .	307
Caractères des sels ammoniacaux. . . . .	<i>ib.</i>
GÉNÉRALITÉS SUR LES MÉTAUX MONATOMIQUES. . . . .	308
<b>DEUXIÈME FAMILLE.</b> . . . .	<i>ib.</i>
<b>Calcium</b> . . . . .	<i>ib.</i>
Chlorure de calcium. . . . .	310
Carbonate de calcium . . . . .	311
Oxyde de calcium ( <i>chaux</i> ). . . . .	312
Phosphate de calcium. . . . .	313
<i>Phosphate neutre</i> . . . . .	<i>ib.</i>
<i>Phosphate acide</i> . . . . .	314
<i>Phosphate biacide</i> . . . . .	<i>ib.</i>
Sulfate de calcium. . . . .	<i>ib.</i>
Caractères distinctifs des sels de calcium. . . . .	315
<b>Strontium, baryum</b> . . . . .	<i>ib.</i>
Caractères distinctifs des sels de strontium et de baryum. . . . .	317
<b>Magnésium</b> . . . . .	318
Chlorure de magnésium . . . . .	319
Oxyde de magnésium. . . . .	320

Hydrate de magnésium . . . . .	20
Sulfate de magnésium . . . . .	20
Carbonates de magnésium . . . . .	21
Reactions des sels magnésiens . . . . .	22
<b>Zinc</b> . . . . .	22
<b>COMPOSÉS DE ZINC AVEC DES MÉTALLIQUES MONATOMIQUES.</b>	22
Chlorure de zinc . . . . .	22
Bromure de zinc . . . . .	22
Iodure de zinc . . . . .	22
<b>COMPOSÉS DE ZINC AVEC LES MÉTALLIQUES DIATOMIQUES.</b>	22
Protosulfate de zinc . . . . .	22
Hydrate de zinc . . . . .	22
Sulfate de zinc . . . . .	22
Sulfure de zinc . . . . .	22
Carbonate de zinc . . . . .	22
Reactions des sels de zinc . . . . .	22
<b>Cadmium</b> . . . . .	22
<b>Cuivre</b> . . . . .	23
Carbonate cuivreux . . . . .	23
Tétrahydrate de cuivre . . . . .	23
Protosulfate de cuivre . . . . .	23
Protosulfate de cuivre . . . . .	23
Hydrate cuivreux . . . . .	23
Sulfate de cuprique . . . . .	23
Azotate de cuivre . . . . .	23
Carbonates de cuivre . . . . .	23
Carbonate cuivreux . . . . .	23
Hydrate cuivreux . . . . .	23
Protosulfate de cuivre . . . . .	23
Sulfure cuivreux . . . . .	23
Oxyde cuivreux . . . . .	23
Caractères distinctifs des sels de cuivre . . . . .	23
<b>Argent</b> . . . . .	24
Composés arsenicaux (composés de MAXIMIN) . . . . .	24
Chlorure mercurique . . . . .	24
Bromure mercurique . . . . .	24
Iodure de mercure . . . . .	24
Protosulfure de mercure . . . . .	24
Protosulfate de mercure . . . . .	24
Azotate mercurique . . . . .	24
Sulfate mercurique . . . . .	24
<b>Composés mercuriaux.</b>	24
Protoclorure de mercure (calomel, calomelas, etc.) . . . . .	24
Protobromure de mercure . . . . .	24
Proto-iodure de mercure . . . . .	24
Sous-sulfure de mercure . . . . .	24
Sous-oxyde de mercure . . . . .	24
Azotate mercurieux . . . . .	24
Sulfate mercurieux . . . . .	24
Réactions analytiques des sels mercuriels . . . . .	24
<b>GÉNÉRALITÉS SUR LA FAMILLE DES MÉTAUX DIATOMIQUES.</b>	24

<b>TROISIÈME FAMILLE.</b> . . . . .	357
<b>Or</b> . . . . .	<i>ib.</i>
Perchlorure d'or. . . . .	359
Protochlorure d'or. . . . .	360
Perbromure d'or. . . . .	<i>ib.</i>
Proto-iodure d'or. . . . .	<i>ib.</i>
Sesquioxyde d'or. . . . .	<i>ib.</i>
Protoxyde d'or. . . . .	361
Sesquisulfure d'or et protosulfure d'or. . . . .	362
Réactions des sels d'or. . . . .	<i>ib.</i>
<b>Thallium et Indium</b> . . . . .	363
Protoxyde de thallium . . . . .	364
<b>QUATRIÈME FAMILLE.</b> . . . . .	<i>ib.</i>
<b>Aluminium</b> . . . . .	<i>ib.</i>
<b>COMBINAISONS DE L'ALUMINIUM AVEC LES MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES.</b> . . . . .	365
Chlorure d'aluminium . . . . .	<i>ib.</i>
Fluorure d'aluminium. . . . .	366
<b>COMBINAISONS DE L'ALUMINIUM AVEC LES MÉTALLOÏDES DIATOMIQUES.</b> . . . . .	367
Oxyde d'aluminium ou alumine. . . . .	<i>ib.</i>
Hydrate d'aluminium. . . . .	<i>ib.</i>
Modifications allotropiques de l'hydrate d'aluminium. . . . .	368
Sulfate double d'aluminium et de potassium (alun). . . . .	<i>ib.</i>
Silicate d'aluminium. . . . .	370
Caractères distinctifs des sels aluminiques. . . . .	<i>ib.</i>
<b>Manganèse.</b> . . . . .	371
Réactions des sels de manganèse. . . . .	375
<b>Fer.</b> . . . . .	<i>ib.</i>
<b>COMPOSÉS DE FER AU MINIMUM OU FERREUX.</b> . . . . .	379
Protochlorure de fer. . . . .	<i>ib.</i>
Protobromure de fer. . . . .	380
Proto-iodure de fer. . . . .	<i>ib.</i>
Protoxyde de fer. . . . .	<i>ib.</i>
Protosulfure de fer . . . . .	381
Sulfate ferreux . . . . .	382
Carbonate ferreux. . . . .	383
<b>COMPOSÉS DE FER AU MAXIMUM OU FERRIQUES.</b> . . . . .	<i>ib.</i>
Perchlorure de fer. . . . .	<i>ib.</i>
Perbromure et periodure de fer . . . . .	384
Sesquioxyde de fer. . . . .	<i>ib.</i>
Hydrate ferrique. . . . .	<i>ib.</i>
Sels ferriques . . . . .	385
<b>COMPOSÉS DE FER N'APPARTENANT A AUCUNE DES DEUX SÉRIES PRÉCÉDENTES.</b> . . . . .	386
Oxyde de fer magnétique. . . . .	<i>ib.</i>
Anhydride ferrique . . . . .	<i>ib.</i>
Bisulfure de fer . . . . .	387
Pyrite magnétique . . . . .	<i>ib.</i>
Fer titané. . . . .	<i>ib.</i>
Caractères des sels de fer. . . . .	<i>ib.</i>
<b>Chrome</b> . . . . .	388
<b>COMBINAISONS DU CHROME AVEC LES MÉTALLOÏDES MONATOMIQUES.</b> . . . . .	390
Protochlorure de chrome. . . . .	<i>ib.</i>

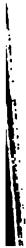
Perchlorure de chrome . . . . .	.....
COMBINAISONS DU CHROME AVEC LES MÉTALLOÏDES DIATOMIQUES . . . . .	.....
Protoxyde de chrome. . . . .	.....
Sesquioxyde de chrome. . . . .	.....
Hydrate chromique ou au maximum. . . . .	.....
Sulfate chromique. . . . .	.....
Alun de chrome. . . . .	.....
Anhydride chromique . . . . .	.....
Chromate neutre de potassium. . . . .	.....
Dérivés chlorés de l'acide chromique. . . . .	.....
Dérivés condensés de l'acide chromique. . . . .	.....
Dichromate potassique. . . . .	.....
Trichromate potassique . . . . .	.....
Acide perchromique. . . . .	.....
Sulfures de chrome. . . . .	.....
Caractères distinctifs des sels de chrome. . . . .	.....
<b>Cobalt.</b> . . . . .	.....
Réactions des sels de cobalt . . . . .	.....
<b>Nickel.</b> . . . . .	.....
Caractères distinctifs des sels de nickel. . . . .	.....
<b>Plomb.</b> . . . . .	.....
COMPOSÉS HALOÏDES DU PLOMB. . . . .	.....
Chlorure de plomb. . . . .	.....
Tétrachlorure de plomb. . . . .	.....
Bromure de plomb. . . . .	.....
Iodure de plomb. . . . .	.....
COMBINAISONS DU PLOMB AVEC LES MÉTALLOÏDES DIATOMIQUES. . . . .	.....
Sulfure de plomb. . . . .	.....
Protoxyde de plomb. . . . .	.....
Hydrate plombique. . . . .	.....
Sulfate de plomb. . . . .	.....
Azotate de plomb. . . . .	.....
Chromate de plomb . . . . .	.....
Acétate neutre de plomb. . . . .	.....
Carbonate neutre de plomb. . . . .	.....
Hydrate diplombique. . . . .	.....
Bioxyde de plomb (anhydride plombique). . . . .	.....
Minium ou oxyde salin. . . . .	.....
Caractères distinctifs des sels de plomb. . . . .	.....
Action du plomb sur l'économie animale. . . . .	.....
<b>Platine.</b> . . . . .	.....
Réactions des sels de platine. . . . .	.....
GÉNÉRALITÉS SUR LES MÉTAUX TÉTRATOMIQUES . . . . .	.....
<b>CINQUIÈME FAMILLE.</b> . . . . .	.....
<b>SIXIÈME FAMILLE.</b> . . . . .	.....
<b>Généralités sur les oxydes.</b> . . . . .	.....
Préparation . . . . .	.....
Classification. . . . .	.....
Action des divers agents sur les oxydes . . . . .	.....
1° Action de la chaleur. . . . .	.....



2° Action de l'électricité . . . . .	426
3° Action de l'oxygène . . . . .	427
4° Action de l'hydrogène . . . . .	ib.
5° Action du carbone . . . . .	ib.
6° Action du chlore . . . . .	ib.
7° Action du soufre . . . . .	428
8° Action du phosphore . . . . .	429
9° Action des métaux . . . . .	ib.
10° Action de l'eau . . . . .	ib.
11° Action des bases . . . . .	430
12° Action des acides . . . . .	ib.
AROTATES . . . . .	ib.
AROTITES . . . . .	431
PROSPHATES . . . . .	ib.
PROSPHITES . . . . .	432
HYPOPHOSPHITES . . . . .	ib.
ARSÉNATES . . . . .	ib.
ARSÉNITES . . . . .	433
SULFATES . . . . .	ib.
SULFITES . . . . .	434
HYPOSULFATES (DITHIONATES) . . . . .	ib.
HYPOSULFITES . . . . .	ib.
HYDROSULFITES . . . . .	435
CHLORATES . . . . .	ib.
PERCHLORATES . . . . .	ib.
HYPOCHLORITES . . . . .	ib.
CHLORITES . . . . .	ib.
BORATES . . . . .	436
CARBONATES . . . . .	ib.
SILICATES . . . . .	ib.
CHROMATES . . . . .	437
HYDRATES . . . . .	ib.
<b>Généralités sur les sulfures . . . . .</b>	<b>ib.</b>
Préparation . . . . .	ib.
Classification . . . . .	438
Action des réactifs . . . . .	440
1° Action du soufre . . . . .	ib.
2° Action de l'hydrogène . . . . .	ib.
3° Action du carbone . . . . .	441
4° Action du chlore . . . . .	ib.
5° Action de l'oxygène . . . . .	442
6° Action des métaux . . . . .	443
7° Action de l'eau . . . . .	ib.
8° Action de l'acide sulfhydrique . . . . .	ib.
9° Action des anhydrosulfides acides . . . . .	ib.
10° Action des anhydrosulfides basiques . . . . .	444
PARALLÈLE ENTRE LES SULFURES ET LES OXYDES . . . . .	ib.
<b>Généralités sur les chlorures . . . . .</b>	<b>445</b>

<b>Perochlorure de chrome</b> . . . . .	391
<b>COMBINAISONS DU CHROME AVEC LES MÉTALLOÏDES MATRICOIRES</b> . . . . .	392
Protoxyde de chrome . . . . .	ib.
Hexafluorure de chrome . . . . .	ib.
Épichromite ou ses mémoires . . . . .	393
Sulfate chromique . . . . .	394
Alun de chrome . . . . .	ib.
Anhydride chromique . . . . .	395
Chromate neutre de potassium . . . . .	395
Dérivés chlorés de l'acide chromique . . . . .	397
Dérivés condensés de l'acide chromique . . . . .	ib.
Dichromate potassique . . . . .	398
Trichromate potassique . . . . .	ib.
Acide perchromique . . . . .	ib.
Sulfures de chrome . . . . .	ib.
Caractères distinctifs des sels de chrome . . . . .	ib.
<b>Cobalt</b> . . . . .	399
Réactions des sels de cobalt . . . . .	401
<b>Nickel</b> . . . . .	402
Caractères distinctifs des sels de nickel . . . . .	405
<b>Plomb</b> . . . . .	406
<b>COMPOSÉS HALOÏDES DU PLOMB</b> . . . . .	407
Chlorure de plomb . . . . .	ib.
Tétrachlorure de plomb . . . . .	ib.
Bromure de plomb . . . . .	ib.
Iodure de plomb . . . . .	408
<b>COMBINAISONS DU PLOMB AVEC LES MÉTALLOÏDES MATRICOIRES</b> . . . . .	ib.
Sulfure de plomb . . . . .	ib.
Protoxyde de plomb . . . . .	409
Hydrate plombique . . . . .	410
Sulfate de plomb . . . . .	ib.
Azotate de plomb . . . . .	411
Chromate de plomb . . . . .	412
Acétate neutre de plomb . . . . .	ib.
Carbonate neutre de plomb . . . . .	413
Hydrate diplombique . . . . .	415
Bioxyde de plomb (anhydride plombique) . . . . .	ib.
Minium ou oxyde salin . . . . .	416
Caractères distinctifs des sels de plomb . . . . .	ib.
Action du plomb sur l'économie animale . . . . .	417
<b>Platine</b> . . . . .	ib.
Réactions des sels de platine . . . . .	423
<b>GÉNÉRALITÉS SUR LES MÉTAUX TÉTRATOMIQUES</b> . . . . .	425
<b>CINQUIÈME FAMILLE</b> . . . . .	424
<b>SIXIÈME FAMILLE</b> . . . . .	ib.
<b>Généralités sur les oxydes</b> . . . . .	425
Préparation . . . . .	ib.
Classification . . . . .	ib.
Action des divers agents sur les oxydes . . . . .	ib.
1° Action de la chaleur . . . . .	426

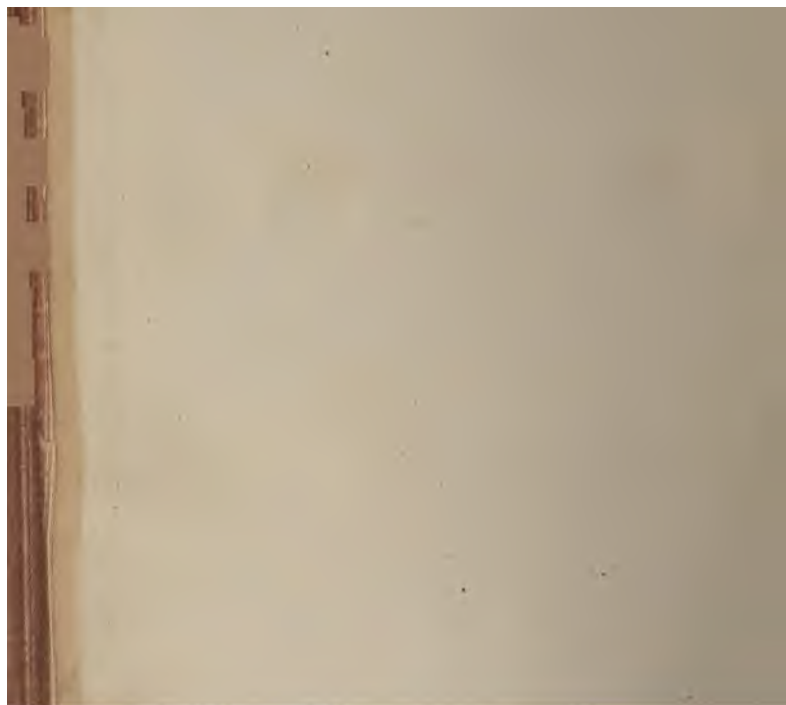
2° Action de l'électricité . . . . .	426
3° Action de l'oxygène . . . . .	427
4° Action de l'hydrogène . . . . .	ib.
5° Action du carbone . . . . .	ib.
6° Action du chlore . . . . .	ib.
7° Action du soufre . . . . .	428
8° Action du phosphore . . . . .	429
9° Action des métaux . . . . .	ib.
10° Action de l'eau . . . . .	ib.
11° Action des bases . . . . .	430
12° Action des acides . . . . .	ib.
AZOTATES . . . . .	ib.
AZOTITES . . . . .	431
PROSPHATES . . . . .	ib.
PROSPHITES . . . . .	432
HYPOPHOSPHITES . . . . .	ib.
ARSÉIATES . . . . .	ib.
ARSÉNITES . . . . .	433
SULFATES . . . . .	ib.
SULFITES . . . . .	434
HYPOSULFATES (DITHIONATES) . . . . .	ib.
HYPOSULFITES . . . . .	ib.
HYDROSULFITES . . . . .	435
CHLORATES . . . . .	ib.
PERCHLORATES . . . . .	ib.
HYPOCHLORITES . . . . .	ib.
CHLORITES . . . . .	ib.
BORATES . . . . .	436
CARBONATES . . . . .	ib.
SILICATES . . . . .	ib.
CHROMATES . . . . .	437
HYDRATES . . . . .	ib.
<b>Généralités sur les sulfures . . . . .</b>	<b>ib.</b>
Préparation . . . . .	ib.
Classification . . . . .	438
Action des réactifs . . . . .	440
1° Action du soufre . . . . .	ib.
2° Action de l'hydrogène . . . . .	ib.
3° Action du carbone . . . . .	441
4° Action du chlore . . . . .	ib.
5° Action de l'oxygène . . . . .	442
6° Action des métaux . . . . .	443
7° Action de l'eau . . . . .	ib.
8° Action de l'acide sulfhydrique . . . . .	ib.
9° Action des anhydrosulfides acides . . . . .	ib.
10° Action des anhydrosulfides basiques . . . . .	444
PARALLÈLE ENTRE LES SULFURES ET LES OXYDES . . . . .	ib.
<b>Généralités sur les chlorures . . . . .</b>	<b>445</b>













1

2

